

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

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ В XXI ВЕКЕ – 2015. ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции  
(Ижевск, 25–27 ноября 2015 года)



Издательство ИжГТУ  
имени М. Т. Калашникова  
Ижевск 2016

УДК 681.2(06)

П75

### Организационный комитет конференции

- Б. А. Якимович* – председатель оргкомитета, д-р техн. наук, ректор ИжГТУ;  
*А. И. Кориунов* – зам. председателя, д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе;  
*В. В. Хворенков* – зам. председателя, д-р техн. наук, проф., проректор по учебной работе;  
*В. А. Алексеев* – зам. председателя, д-р техн. наук, проф., секретарь ученого совета ИжГТУ;  
*А. В. Абилов* – зам. председателя, канд. техн. наук, декан приборостроительного факультета, ответственный организатор конференции;  
*А. П. Тюрин* – зам. председателя, д-р техн. наук, проф., зам. начальника управления научно-исследовательских работ;  
*В. И. Заболотских* – зам. председателя, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., научный редактор сборника материалов конференции;  
*С. А. Мурашов* – канд. техн. наук, доц., технический редактор сборника материалов конференции;  
*В. А. Глушков* – канд. техн. наук, доц., директор «СКБ космического приборостроения имени В. А. Шутова»;  
*Ю. К. Шелковников* – д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. Института механики УрО РАН;  
*И. К. Ижболдин* – технический директор ОАО «Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг»;  
*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»

### Научный комитет конференции

- В. П. Тарануха* – 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 измерений, контроля, диагностики», рук. секции 2;  
*Г. В. Ломаев* – д-р техн. наук, профессор кафедры «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики», рук. секции 2;  
*В. А. Морозов* – канд. техн. наук, доц. кафедры «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. Соболев* – д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой «Физика и оптотехника», рук. секции 5;  
*А. А. Айзикович* – канд. физ.-мат. наук, доц., зав. кафедрой «Прикладная математика и информатика», рук. секции 6

**Приборостроение в XXI веке – 2015. Интеграция науки, образования и производства** : сб. материалов XI Междунар. науч.-техн. конф. (Ижевск, 25–27 нояб. 2015 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2016. – 607 с. – 13,2 Мб.

ISBN 978-5-7526-0742-4 (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(06)

ISBN 978-5-7526-0742-4  
(Электронное издание)

© Издательство ИжГТУ  
имени М. Т. Калашникова», 2016

## Содержание

|  |     |
|--|-----|
| <b>Пленарная секция</b> .....  | 9   |
| <i>Тарануха Н. Л., Тарануха В. П.</i> Система дистанционного обучения по профессиональной переподготовке инженерных кадров в области приборостроения в Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова ..... | 9   |
| <i>Тарануха Н. Л., Тарануха В. П.</i> Система профессиональной переподготовки инженерных кадров в Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова в сфере приборостроения.....                               | 18  |
| <b>Секция 1. Конструирование и производство электронных средств. Космическое приборостроение</b> .....   | 22  |
| <i>Бабошкина А. А., Бабошкин Г. Д., Ушаков П. А.</i> Анализ целесообразности реализации ФАПЧ на элементах с фрактальным импедансом .....   | 22  |
| <i>Белослудцев В. Н., Бояринцева Е. С., Ширококов В. Н., Драчев А. В., Глушков В. А.</i> Концепция наноспутника ИжГТУ имени М. Т. Калашникова .....  | 27  |
| <i>Вахрушев Н. В.</i> Параметрическая оптимизация электрических схем РЭС .....   | 33  |
| <i>Вершинин А. С., Моченов С. В.</i> Разработка алгоритмов работы контрольно-проверочной аппаратуры бортового цифрового вычислительного комплекса .....  | 39  |
| <i>Ворожцов А. В., Моченов С. В.</i> Разработка системы контроля напряжения АКБ с передачей информации по универсальной измерительной магистрали .....   | 45  |
| <i>Глушков В. А.</i> Обзор стандарта IEC 62391 .....   | 50  |
| <i>Глушков В. А., Гравшин В. Г., Долгачева Л. О., Ахметгалиев Р. Р.</i> Устройство считывания flash накопителя как полезная нагрузка для спутника CubeSat.....   | 55  |
| <i>Глушков В. А., Клишин С. В., Шамсияхметов О. Я.</i> Особенности расчета показателей надежности РЭА.....   | 58  |
| <i>Григорьев А. О.</i> Модернизация электронных часов .....  | 68  |
| <i>Друзьянова В. П., Спиридонова А. В., Тарануха В. П., Глушков В. А.</i> Применение пиролизной установки ГВА-1 в лаборатории Северо-Восточного федерального университета .....  | 76  |
| <i>Жидяев А. В., Коновалов А. В., Батулин И. С.</i> Система автоматического измерения чувствительности приемника .....   | 83  |
| <i>Колясев В. А.</i> Измерение ударных ускорений с учетом особенностей объектов контроля.....  | 87  |
| <i>Марченко И. С., Манченко И. В., Чайников И. С., Мирзаханов И. Л., Глушков В. А.</i> Сравнение алгоритмов защиты кода от помех.....  | 95  |
| <i>Молин С. М.</i> Новый показатель ремонтпригодности радиоэлектронной аппаратуры с повышенной стойкостью к внешним воздействиям .....   | 103 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Первякова Ю. А., Симкина Е. В., Уразманова О. И., Глушков В. А.</i> Получение электроэнергии из топливных элементов в сравнении с традиционными методами.....  | 110 |
| <i>Печенкин А. Ю., Семечкина Е. Ю.</i> Реализация подсистемы видеообработки на SOC.....   | 115 |
| <i>Печенкин А. Ю., Тарануха В. П.</i> Реализация сложных ресурсоемких алгоритмов на базе гибридов CPU-FPGA.....   | 119 |
| <i>Подкин Ю. Г., Чукуров Т. Г.</i> Проектирование преобразователей энергии импульсных пиротехнических источников тока.....  | 123 |
| <i>Подсизерцев М. А., Ушаков П. А.</i> Анализ характеристик шестиполусного R-C-NR-ЭРП при различных двухполусных схемах включения.....  | 134 |
| <i>Порошин Э. В., Дойников Р. Г., Фомин Г. А., Глушков В. А.</i> Состояние и перспективы применения суперконденсаторов.....   | 140 |
| <i>Тарануха В. П., Глушков В. А., Чумаков В. В., Мажд Г.</i> Концепция загородной астрономической площадки в составе студенческого городка ФГБОУ ВО “ИжГТУ имени М.Т. Калашникова”.....                                     | 147 |
| <i>Тарануха В. П., Непогодин Е. А., Петрушин С. А.</i> Применение солнечных батарей для беспилотных летательных аппаратов.....  | 155 |
| <i>Тарануха В. П., Ушаков П. А., Шамсияхметов О. Я.</i> Использование программно-аппаратных генераторов псевдослучайных чисел в задачах синтеза пассивных электрических фильтров с применением генетических алгоритмов..... | 158 |
| <i>Тутаев О. Ю.</i> Перспективы применения информационных технологий на производстве радиоэлектронной аппаратуры.....   | 167 |
| <b>Секция 2. Приборы в промышленности, здравоохранении и экологии</b> .....   | 174 |
| <i>Булдакова И. В., Габбасова М. А., Муравьева О. В., Коцеева Ю. О., Пушина Г. Л.</i> Корреляционный анализ осциллограмм при контроле прутков зеркально-теневым электромагнитно-акустическим методом.....                   | 174 |
| <i>Водеников С. К.</i> Перспективы развития СВЧ-микроэлектроники на заводе микроэлектронных технологий.....   | 181 |
| <i>Злобин Д. В., Гущина Л. В.</i> Контроль линейно-протяженных объектов с использованием крутильной волны.....  | 185 |
| <i>Комарский Р. И.</i> Конструирование бытового дозиметра с улучшенными характеристиками.....   | 190 |
| <i>Макаров А. А., Дудина Ю. С., Богдан О. П., Недзвецкая Е. В.</i> Оценка интенсивности ультразвукового излучения медицинских диагностических сканеров.....   | 197 |
| <i>Муравьев В. В., Алимова И. С., Кузнецов Е. П., Хлебников А. А., Недзвецкая Е. В.</i> Разложение ультразвуковых медицинских изображений по кривым с использованием цветовой модели RGB.....                               | 202 |
| <i>Муравьева О. В., Соков М. Ю., Бойченко А. М., Фотина А. А., Понькин М. А.</i> Модель зеркально-теневого электромагнитно-акустического метода на многократных отражениях при неравномерности толщины стенки трубы.....    | 208 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Нафикова С. Ф., Богдан О. П.</i> Исследование механизмов рассеивания ультразвуковой волны на контрастных веществах в крови .....   | 214 |
| <i>Пономарева О. В., Пономарев В. А.</i> Процессорные средства виброакустического диагностирования механообрабатывающего оборудования .....   | 221 |
| <i>Репин Д. Г., Постников В. А., Гусев И. О., Рассомахин В. В., Тарасов В. В.</i> Организация геотехнического мониторинга оснований зданий и сооружений при строительстве и реконструкции на объектах ПАО «Газпром» ..... | 228 |
| <i>Степанов В. А., Белых В. В.</i> Универсальный механизм информационных преобразований изображений структур материалов различной природы .....   | 231 |
| <i>Стрижак В. А., Хасанов Р. Р., Пряхин А. В.</i> Особенности возбуждения ЭМА датчика для дефектоскопа АДНШ .....   | 242 |
| <i>Хафизова Н. Ф., Торжкова Н. Н., Шишкин В. С.</i> Проблемы безопасности жизнедеятельности при использовании наноматериалов в электронной технике .....  | 247 |
| <i>Шелковникова Ю. Н.</i> Особенности контроля реологических параметров буровых растворов при переменных температурах и давлении .....  | 254 |
| <b>Секция 3. Приборы в системах управления и контроля</b> .....   | 259 |
| <i>Гизатуллина О. Л., Барсуков В. К.</i> Моделирование распространенных видов схем источников питания нелинейных электроприемников .....  | 259 |
| <i>Гумеров Р. И., Харитонов Е. А.</i> Вейвлет-преобразование сигнала на микроконтроллере ХК-1А компании X MOS .....   | 267 |
| <i>Красноперов Р. Н., Стародубцева В. А.</i> Анализ рабочих характеристик стандартного и обращенного асинхронного двигателя .....   | 273 |
| <i>Морозов А. В., Чукавин А. А., Морозов В. А.</i> Разработка частотного преобразователя основного привода лифтовой установки .....   | 278 |
| <i>Морозов В. А., Туктарев Н. В., Данилов А. С.</i> Разработка тензометрической системы регистрации механических параметров .....   | 285 |
| <i>Никитин Ю. Р., Абрамов И. В., Турыгин Ю. В.</i> Диагностика технического состояния электрических двигателей деревообрабатывающего оборудования .....   | 290 |
| <i>Лиманова О. В.</i> Адаптация первокурсников направления «Электроэнергетика и электротехника» и ее особенности .....  | 297 |
| <i>Пономарев А. А., Штенников И. В., Шкляев Е. А.</i> Разработка усилителя малых токов для контроля удельных сопротивлений диэлектриков .....   | 307 |
| <i>Пономарева О. В., Пономарев А. В., Пономарева Н. В.</i> Приборы дискретных косвенных измерений параметров электрических сигналов .....   | 314 |
| <i>Стародубцева В. А., Мельников А. В.</i> Особенности расчета обращенного асинхронного двигателя .....   | 321 |
| <i>Стародубцева В. А., Шкляев М. О.</i> Влияние геометрической формы сердечника на распределение магнитного потока в трансформаторе .....   | 326 |
| <i>Штенников И. В., Алексеев Е. Н., Туров А. В.</i> Анализ методов измерения электрического сопротивления проволочного испарителя хрома .....   | 331 |

|   |            |
|---|------------|
| <i>Штенников И. В., Игнатьев А. В., Четкарёв Д. П.</i> Анализ работы источника питания резистивного испарителя с фазоимпульсным управлением .....             | 337        |
| <i>Штин А. А., Безруков П. Е.</i> Исследование влияния частоты на выходное напряжение выпрямителей со сглаживающими фильтрами .....                           | 342        |
| <b>Секция 4. Информационные технологии в радиотехнике и связи .....</b>   | <b>347</b> |
| <i>Bustami R.</i> Research and Development of the Encryption Algorithm in Specific Area of Digital Image .....  | 347        |
| <i>Ахатова Л. Д., Караваева А. П., Емельянова М. М., Емельянов В. Н.</i> Особенности организации и перспективы муниципального Wi-Fi .....                     | 354        |
| <i>Ахметшина Л. И., Гитлин В. Б.</i> Лабораторные работы по изучению дискретного косинусного преобразования .....   | 361        |
| <i>Бояришинов М. А., Хусаенов Р. Р.</i> Расчет среднего числа переспросов и среднего времени задержки при использовании сетевого протокола CSMA .....         | 368        |
| <i>Бояришинов М. А., Шабалина О. М.</i> Анализ пик-фактора многоканальных сигналов с модуляцией ФМ-2 в каждом подканале .....                                 | 374        |
| <i>Вагина В. А., Зайцева Е. М.</i> Разработка тестовых заданий по специальным дисциплинам направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» ..... | 378        |
| <i>Владыкина К. К., Васильев Д. С.</i> Исследование эффективности алгоритма ARQ для доставки потоковых данных в FANET .....                                   | 383        |
| <i>Главатских В. Н., Марков М. М.</i> Использование фильтров с характеристикой Гаусса для сужения спектра сигнала .....                                       | 391        |
| <i>Гуцану А. В., Емельянова Е. Я., Зайцева Е. М.</i> Использование средств связи для организации работы ОАО «РЖД» .....                                       | 396        |
| <i>Емелина Д. Г., Загидуллин Ю. Т., Ермаков Ф. М.</i> Выбор зондирующего сигнала для оценки канала связи .....  | 404        |
| <i>Емельянов А. А., Меркушев О. В.</i> Передача данных в беспроводных сетях IEEE 802.11: угрозы безопасности и методы защиты .....                            | 411        |
| <i>Емельянов В. Н., Емельянова М. М., Зиновьева Е. Л., Шамонов М. Ю.</i> Анализ методов обнаружения аномалий сетевого трафика .....                           | 420        |
| <i>Емельянова М. М., Баженов М. Н., Ермаков В. С., Манохина Д. В.</i> Программное определение спектра зашумленного сигнала .....                              | 426        |
| <i>Емельянова М. М., Емельянов В. Н., Титов В. В., Машковцев В. С.</i> Опасность использования точек доступа Wi-Fi в общественных местах .....                | 433        |
| <i>Минин В. Е.</i> Увеличение производительности сети радиосвязи за счет изменения длительности кадра данных .....  | 439        |
| <i>Надеева Д. Б., Дершисева Н. А., Нистюк А. И.</i> Тактильная обратная связь .....   | 444        |
| <i>Нистюк А. И., Кайсина И. А.</i> Разработка адаптивного пользовательского интерфейса для устройств с сенсорным экраном .....                                | 449        |
| <i>Нистюк А. И., Пастухов И. С., Папулов В. М.</i> Разработка интерфейса класса HMI .....   | 454        |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Огородникова А. С., Емельянова М. М., Емельянов В. Н.</i> Аппаратный комплекс обеспечения безопасности движения на нерегулируемых пешеходных переходах..... | 457        |
| <i>Рогожников М. А., Сметанина Е. Д.</i> Разработка прототипа SaaS систем управления микроклиматом в тепличных хозяйствах.....                                 | 463        |
| <i>Родионова И. В., Нистюк А. И.</i> Технологии тактильной обратной связи телекоммуникационных устройств.....  | 467        |
| <i>Сидорина В. А., Касимова С. Г.</i> Использование методов эффективного информационного поиска в учебном процессе.....  | 473        |
| <i>Сидорина В. А., Михайлова А. О.</i> Использование новых форм лекций в учебном процессе для студентов радиотехнического профиля.....                         | 478        |
| <i>Спиридонова П. А., Нистюк А. И.</i> Тактильные ощущения на плоском экране.....  | 484        |
| <i>Хворенков В. В., Мосунов Д. Г.</i> Выбор навигационных приемников для оснащения устройств и систем радиосвязи.....  | 489        |
| <i>Юрков А. А.</i> Разработка блоков системы питания и управления плазменным двигателем.....   | 499        |
| <b>Секция 5. Физические методы в приборостроении.....</b>  | <b>504</b> |
| <i>Алексеев В. А., Перминов А. С., Юран С. И.</i> Использование имитатора пульсовых кривых для тестирования и калибровки фотоплетизмографа.....                | 504        |
| <i>Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И., Хуснутдинов Э. М.</i> Распознавание загрязнений сточных вод.....  | 511        |
| <i>Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И., Шкляев Е. А.</i> Идентификация загрязнений сточных вод и промышленных стоков в процессе производства.....       | 518        |
| <i>Каракулов О. Е., Бузилов С. В., Шаньгин М. А.</i> Автоматизированная установка для измерения коэффициента температуропроводности сплавов.....               | 524        |
| <i>Слащев Е. С.</i> Исследование параметров малогабаритной рентгеновской трубки.....   | 530        |
| <i>Усольцев В. П., Девятков Н. А.</i> Использование двухчастотного лазерного зондирования для контроля загрязнений сточных вод.....                            | 536        |
| <i>Усольцева А. В.</i> Использование лазерного гравирования при декоративной обработке органического стекла.....   | 541        |
| <i>Чжан Т., Юран С. И.</i> Расширение спектрального диапазона при регистрации фотоплетизмограмм.....   | 546        |
| <i>Чжан Т., Юран С. И.</i> Обработка фотоплетизмограмм с применением адаптивной фильтрации.....  | 550        |
| <b>Секция 6. Алгоритмы и программные системы для приборостроения.....</b>  | <b>555</b> |
| <i>Bustami R.</i> Implementation of image encryption algorithm with one-time pad and pseudo-random chaos in Java.....  | 555        |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Айзикович А. А., Клишин С. В., Петрушин С. А., Тарануха В. П.</i><br>О точности твердотельного волнового гироскопа.....                                  | 562 |
| <i>Беляев А. С., Пантюхин А. Р., Александрова Т. В.</i> Использование<br>системы на кристалле для управления роботами .....                                 | 568 |
| <i>Злобина А. Г., Немцова О. М.</i> Влияние методики площадного элек-<br>тропрофилирования на точность восстановления границы погребенного<br>объекта ..... | 574 |
| <i>Ларин С. Н., Карпаев С. А.</i> Модель управления потоками задач в<br>оперативно-производственном планировании многономенклатурного<br>предприятия .....  | 581 |
| <i>Мокрова С. М., Петров Р. П., Милч В. Н.</i> Представление текстур-<br>ных компонент металлов кубической системы в пространстве Родрига.....              | 588 |
| <i>Назмутдинова А. И., Милч В. Н.</i> Метод интерпретации космиче-<br>ских снимков площадных объектов местности на основе вейвлет-<br>анализа.....          | 595 |
| <i>Спирidonov В. В., Петухов К. Ю.</i> Аппартно-программная реализа-<br>ция методов быстрого умножения .....  | 601 |



## Пленарная секция

УДК 378.046.4

*Н. Л. Тарануха*, д-р экон. наук, проф.

E-mail: sfpdpo@istu.ru

*В. П. Тарануха*, канд. техн. наук, доц.

E-mail: kra\_dept@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

### **Система дистанционного обучения по профессиональной переподготовке инженерных кадров в области приборостроения в Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова**

*Целью программ профессиональной переподготовки с элементами дистанционного обучения является обеспечение инженерных кадровых потребностей промышленных предприятий путем формирования профессиональных компетенций без отрыва от производства.*

**Ключевые слова:** дополнительное профессиональное образование, трудовые функции, компетенции, дистанционное обучение, электронные курсы.

Основным структурным элементом при дистанционном обучении является электронный учебный курс (далее – ЭУК). Профессионально разработанный ЭУК, учитывающий педагогические и психологические аспекты обучения с использованием инновационных технологий, является основным информационно несущим инструментом при дистанционном обучении.

В целях разработки электронных учебных курсов, отвечающих современным требованиям и обеспечивающих возможность эффективно приобретения слушателями компетенций и трудовых функций, необходим руководящий документ, унифицирующий в необходимой мере ЭУК как по структуре, так и по форме представления материалов.

Система профессиональной переподготовки инженерных кадров должна решать задачи на двух уровнях: первый – обеспечивать кадро-

вые потребности инвестиционных проектов с целью повышения уровня реализуемости этих проектов; второй – развитие кадрового потенциала промышленных предприятий в целом.

Преимущества профессиональной переподготовки (Тарануха Н. Л. Система профессиональной переподготовки кадров для nanoиндустрии в Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова // Вестник ИжГТУ. 2013. № 3(59). С. 181–183):

- максимальная приближенность к практике выбранной профессии;
- продолжительность обучения 6–9 месяцев (в зависимости от направления);
- сочетание самостоятельного обучения с обучением в лабораториях;
- сокращение времени отрыва человека от рабочего места на период обучения;
- возможность восполнить проблемы в знаниях, предоставляемых в электронном учебном курсе;
- возможность получить консультацию преподавателя посредством коммуникационных сервисов.

Разработка образовательных программ по дополнительному профессиональному образованию (ДПО) в Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова предполагает изучение и уточнение с работодателем трудовых функций специалистов, соответствующего перечня процессов и операций (трудовых действий), обеспечивающих выполнение этих трудовых функций, и на этой основе определение необходимых компетенций специалистов (образовательных результатов программы), которые должна формировать образовательная программа.

Получение этих образовательных результатов должно обеспечить выполнение трудовых функций, требуемых реальным производством. Эти работы выполняются с обязательным участием работодателей компаний, реализующих проекты в области создания и производства продукции.

При разработке образовательной программы необходимо конвертировать трудовые функции специалиста в учебную деятельность слушателей, сформировать совокупность знаний, умений и практических навыков, обеспечивающих получение заданных образовательных результатов (компетенций) и выбрать адекватные образовательные технологии для их формирования.

В период разработки образовательных программ профессиональной переподготовки инженерных кадров решаются следующие задачи:

- изучаются и уточняются совместно с представителями работодателя трудовые функции специалистов, а также соответствующий им

перечень трудовых действий (перечень процессов и операций), обеспечивающих выполнение этих трудовых функций;

- выделяются системные профессиональные компетенции как образовательные результаты программы, обеспечивающие выполнение специалистами требуемых работодателями трудовых функций;

- определяются единичные профессиональные компетенции – совокупность знаний, умений и опыта практической деятельности, позволяющих подобрать показатели для оценивания уровня сформированности компетенций слушателей после прохождения ими переподготовки;

- подбираются адекватные поставленным задачам образовательные технологии, обеспечивающие получение заданных образовательных результатов – формирование у слушателей дополнительных профессиональных компетенций;

- выбираются и обобщаются содержание и формы организации учебной деятельности;

- разрабатываются учебно-методические комплексы (УМК) (программы профессиональных модулей, контрольно-измерительные материалы для оценивания знаниевых и компетентностных результатов обучения), обеспечивающие образовательную программу;

- подбираются образовательные технологии, позволяющие работать со слушателями в режиме e-learning: видеолекции, самостоятельное изучение теоретического материала, лабораторные занятия, вебинары, виртуальные лабораторные работы и т. д.

На основе опыта, полученного при апробации учебного модуля в дистанционном формате, предлагаются следующие обязательные мероприятия, предваряющие начало дистанционного курса обучения:

1. Преподаватели должны пройти курсы повышения квалификации в области дистанционного обучения.

2. Слушатели также должны пройти предварительную (ознакомительную) подготовку по работе в системе дистанционного обучения.

3. Содержание дистанционного курса, а также виды учебных занятий (лекции, семинарские и практические занятия) должны быть скорректированы таким образом, чтобы увеличить долю самостоятельной работы слушателей (сокращение, в частности, числа лекционных занятий в пользу практических).

4. Самостоятельная работа слушателей должна быть организована на основе деятельностного подхода: составление перечня практических заданий, обеспечивающих качественное усвоение слушателями учебного материала курса и содержащих краткие теоретические сведения и подробную методику их выполнения.

5. Отмена групповых подключений к вебинару: слушателям, подключающимся к вебинару дистанционно, нет никакой необходимости сидеть в одной аудитории. Намного удобнее использовать индивидуальное подключение (возможно со своего рабочего места), когда каждый слушатель может не только более качественно видеть и слышать преподавателя, но и участвовать в дискуссии как посредством текстового чата в системе Adobe Connect, так и благодаря подключению своего микрофона и веб-камеры.

6. Слушатели, подключившиеся дистанционно, должны иметь возможность получать качественную визуальную поддержку информации, сообщаемую преподавателем. Поэтому при проведении вебинаров (дистанционных лекционных занятий) обязательно наличие учебных презентаций, в полном объеме отражающих содержание учебного материала. Преподаватель, читающий лекцию дистанционно, не должен ходить по аудитории, уходя из поля зрения камеры, а также вести записи на обычной доске (слушателям невозможно воспроизвести этот материал из-за плохого качества).

7. Преподаватели дистанционного курса должны не только заниматься созданием учебных материалов курса, но и качественно осуществлять тьюторскую деятельность.

В связи с этим можно сформулировать ряд *рекомендаций* преподавателям, задействованным в реализации дистанционного обучения, в виде задач, от решения которых зависит качество электронного курса, используемого в дистанционном обучении.

Качество электронного обучения связано, прежде всего, с уровнем подготовленности преподавателей к разработке электронных курсов, пониманием ими специфики электронного обучения. Процесс создания электронных курсов весьма трудоемок, требует от авторов не только предметных знаний, опыта преподавания соответствующего материала, но и творческого подхода к созданию учебно-методических и оценочных материалов, использования эффективных педагогических технологий, владения средствами компьютерной техники, навыков работы в системе дистанционного обучения университета.

Образовательные учреждения, занимающиеся внедрением дистанционных образовательных технологий в учебный процесс, часто вкладывают существенные средства в материально-техническое обеспечение электронного обучения, забывая, что качество учебной информации и эффективность взаимодействия участников образовательного процесса напрямую зависят от компетентности преподавателя электронного курса.

В целом, можно выделить *две основные задачи*, стоящие перед преподавателем электронного курса:

Создание электронного учебно-методического комплекса.

Качественная тьюторская деятельность.

При этом решением обеих задач может заниматься один и тот же преподаватель. Хотя возможна ситуация, когда один преподаватель является автором электронного курса, а другой – его тьютором.

Автор электронного курса должен уметь формулировать *диагностические цели обучения*, четко указывающие на результат. Зачастую преподаватели формально подходят к постановке целей электронного курса, не принимая во внимание, что от правильного выбора учебных целей зависит выбор методов, форм и средств обучения, что в конечном итоге обеспечивает высокие результаты процесса обучения. При постановке *учебных целей* преподаватель должен четко сформулировать, какой конкретно практический опыт деятельности приобретет слушатель после завершения обучения на курсе. Такая формулировка учебных целей соответствует идее деятельностного, а следовательно, и компетентностного подхода в образовании. Цели обучения должны быть, прежде всего, связаны с формированием необходимых умений и навыков. Знания являются не самоцелью, а лишь средством обучения действиям.

Зачастую создатели электронных курсов не используют перспективные образовательные технологии, методики, эффективные формы обучения, делая упор на изложении больших объемов теоретического материала в текстовом или видеоформате, тем самым используя аналог лекций и других наименее эффективных форм обучения.

Необходимо помнить, что усвоение учебного материала было бы более качественным при использовании в основе электронного курса *принципа проблемного обучения*: сообщение учебной информации должно следовать за возникшей проблемной ситуацией, т. е. тогда, когда в этой информации возникает познавательная потребность. Преподаватель мог бы поставить перед обучающимися задачу, требующую практического решения, или вопрос, не имеющий готового однозначного ответа. Только после этого можно предложить слушателям источники полезной информации, необходимые для выполнения предложенного задания или составления аргументированного ответа на поставленный вопрос. При этом следует избегать информационной избыточности, предоставив обучающимся только самую необходимую учебную информацию, используя различные способы ее представления: ссылки на литературу с указанием конкретных страниц; небольшие авторские учебные тексты, по возможности, с иллюстрациями;

презентации; видеоуроки (продолжительностью не более 5 минут); ссылки на интернет-ресурсы и т. п.

Если результат изучения курса может быть оформлен в виде реального учебного продукта, целесообразно использовать *технологии проектного обучения*. В данном случае все практические задания можно выстроить таким образом, чтобы способствовать поэтапной реализации учебного проекта, который, в конечном итоге, может послужить в качестве основы выпускной квалификационной работы.

Автору электронного курса необходимо обязательно предусмотреть в сценарии каждого учебного модуля использование *дискуссий*, в ходе которых обучающиеся должны ответить на ряд вопросов проблемного характера. Организация подобных дискуссий способствует стимулированию познавательного интереса обучающихся, формированию эмоционального контакта между всеми участниками учебного процесса, что очень важно в условиях ограниченного живого общения. Дискуссию можно организовать непосредственно в ходе показа презентации при проведении вебинара либо в виде учебного форума в системе дистанционного обучения. Проблемный характер поставленных вопросов подразумевает, что на них не существует однозначных ответов. Каждый участник обсуждения должен высказать свою аргументированную точку зрения на поставленный вопрос. Причем совершенно не важно, будет ли его мнение совпадать с точкой зрения преподавателя. Главное, чтобы высказывание было подкреплено фактами, доказательствами, аргументами. Дискуссионные методы целесообразно использовать и в сочетании с обучением одних слушателей другими, создав, например, в материалах курса *учебный форум взаимопомощи*, где слушатели могут попросить у других участников курса совета в выполнении того или иного учебного задания.

Еще одной важной задачей, стоящей перед создателем электронного курса, является проектирование *системы оценивания*. Наиболее эффективно использование для этой цели *балльно-рейтинговой системы*, которая позволяет не только оценить итоговый результат, но и осуществить непрерывный мониторинг учебной деятельности: проследить, как обучающиеся пришли к этому результату. Кроме того, балльно-рейтинговую систему можно использовать в качестве одного из факторов, способствующих поддержанию мотивации обучающихся на достаточно высоком уровне на протяжении всего учебного процесса.

При использовании балльно-рейтинговой системы очень важно правильно определить стоимость каждого задания в баллах, а также выявить критерии, позволяющие адекватно, однозначно и объективно оценить различные элементы электронного курса.

Оценивание должно быть *формирующим*, направляющим обучающегося в процессе обучения в нужном направлении. Это не просто выставление оценок, баллов и т. п., но обозначение недоработок, путей последующего развития (причем зачастую это может быть *самообозначение* либо обозначение с помощью коллег по группе). Таким образом, необходимо вовлекать обучающихся в процесс оценивания. Оценивая других, обучающийся, по сути, включается в процесс их обучения. А, как известно, именно обучая других, человек лучше всего усваивает и структурирует информацию. Для объективной оценки своей работы и работы коллег обучающимся необходимо четко задавать критерии оценивания и следить за их соблюдением.

Последним этапом создания электронного курса обязательно должна быть его *апробация*. По итогам апробации автор курса может сделать вывод о достижимости поставленных учебных целей с использованием отобранного учебного материала, разработанных заданий, выбранных методов, форм и средств обучения. В результате могут быть скорректированы содержание и сценарий всего курса или отдельных его модулей, пересмотрены критерии оценивания и распределение баллов, назначенных за выполнение заданий.

Второй, не менее важной, задачей, которую должен решать преподаватель электронного курса – это *тьюторская деятельность*. *Тьютор* – это преподаватель-консультант, который организует эффективное изучение курса. В деятельности тьютора электронного курса в общем случае можно выделить три *составляющие*:

- проведение очных занятий (вебинаров);
- проверка самостоятельной работы (практические задания и учебные форумы);
- консультирование (индивидуальное и групповое).

Организация очных занятий зависит от *типа группы*: только очники, смешанная группа или только вебинаристы. Сложнее всего организовать очные занятия смешанной группы, когда часть слушателей присутствует в аудитории, а часть подключается к занятию в режиме вебинара. В такой ситуации преподаватель зачастую переключает все свое внимание на очную часть группы, забывая о вебинаристах и не предоставляя им возможности участия в дискуссиях. При работе с вебинаристами преподаватель должен обладать способностью наладить диалог обучающихся не только с ним, но и друг с другом, использовать *элементы обучения в сотрудничестве*, что способствует наиболее качественному усвоению учебного материала.

Можно сформулировать общие *требования к тьюторской деятельности*:

1. Изучение дистанционного курса обеспечивает преподаватель-консультант. Преподаватель обязан обеспечить своевременное начало обучения, координировать учебную деятельность, отслеживать успеваемость, оперативно консультировать участников курса, объективно и своевременно оценивать результаты учебной деятельности, заниматься формированием личности обучающегося.

2. Преподаватель имеет право в процессе реализации электронного курса добавлять дополнительные учебные материалы и ссылки на интернет-ресурсы, способствующие усвоению учебного материала при условии соблюдения законодательства в области авторского права.

Компетентность преподавателя в области создания и реализации электронного курса является ключевым фактором в достижении высокого качества электронного образования. В связи с этим в ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» разработаны и успешно реализуются программы повышения квалификации преподавателей: «Автор электронного курса» и «Проектная деятельность преподавателя вуза в среде *Moodle*». Обучение включает в себя знакомство с педагогическими и информационными технологиями, на основе которых может быть создан электронный курс. К окончанию обучения преподаватели не только владеют теоретическими знаниями в области педагогических и информационных технологий создания электронных курсов, но и завершают работу над черновым вариантом собственного электронного курса, который практически готов к апробации.

Решение данных задач с использованием дистанционного обучения позволяет изменить квалификацию специалиста без отрыва от основного производства, доведя ее до требуемого работодателем уровня. В ИжГТУ имени М. Т. Калашникова разработаны и реализованы дистанционные модули для программ профессиональной переподготовки в сфере приборостроения: «Разработка и производство танталовых чип-конденсаторов и суперконденсаторов», «Проектирование и контроль качества накопителей энергии на основе наноструктурированных материалов» для предприятия «Элеконд».

Быстрый рост экономики, развитие новых сфер производства требуют качественной подготовки технически грамотных инженерных кадров.



## **The system of distance learning for retraining of engineers in the field of instrumental engineering in the Kalashnikov Izhevsk State Technical University**

**Abstract.** *The purpose of programs of professional retraining with remote learning elements is to meet the engineering staffing needs of industrial enterprises through the formation of professional competencies without discontinuing work.*

**Keywords:** additional professional education, work functions, competencies, distance learning, e-learning courses.

*Н. Л. Тарануха*, д-р экон. наук, проф.

E-mail: kra\_dept@istu.ru

*В. П. Тарануха*, канд. техн. наук, доц.

E-mail: sfpidpo@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Система профессиональной переподготовки инженерных кадров в Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова в сфере приборостроения**

*Целью программы профессиональной переподготовки является обеспечение инженерных кадровых потребностей промышленных предприятий в сфере приборостроения путем формирования профессиональных компетенций.*

**Ключевые слова:** образовательная программа, дополнительное профессиональное образование, трудовые функции, компетенции, учебно-методический комплекс.

Основным направлением образовательных программ по дополнительному профессиональному образованию (ДПО) является содействие формированию кадрового ресурса, в первую очередь, через развитие кадрового потенциала инвестиционных проектов в сфере приборостроения.

Качество производимой продукции, а также уровень научных исследований определяются квалификацией кадров.

Система профессиональной переподготовки в сфере приборостроения должна решать задачи на двух уровнях: первый – обеспечивать кадровые потребности инвестиционных проектов с целью повышения уровня реализуемости этих проектов; второй – развитие кадрового потенциала отрасли приборостроения в целом.

Преимущества профессиональной переподготовки (Тарануха Н. Л. Система профессиональной переподготовки кадров для nanoиндустрии в Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова // Вестник ИжГТУ. 2013. № 3(59). С. 181–183);

– максимальная приближенность к практике выбранной профессии;  
– продолжительность обучения 6...9 месяцев (в зависимости от направления);

- сочетание самостоятельного обучения с обучением в лабораториях;
- сокращение времени отрыва человека от рабочего места на период обучения;
- возможность восполнить проблемы в знаниях, предоставляемых в электронном учебном курсе;
- возможность получить консультацию преподавателя посредством коммуникационных сервисов.

Разработка образовательных программ по ДПО в сфере приборостроения в Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова предполагает изучение и уточнение с работодателем трудовых функций специалистов, соответствующего перечня процессов и операций (трудовых действий), обеспечивающих выполнение этих трудовых функций и, на этой основе, определение необходимых компетенций специалистов (образовательных результатов программы), которые должна формировать образовательная программа.

Получение этих образовательных результатов должно обеспечить выполнение трудовых функций, требуемых реальным производством в сфере приборостроения. Эти работы выполняются с обязательным участием работодателей компаний, реализующих проекты в области создания и производства приборостроительной продукции.

При разработке образовательной программы необходимо конвертировать трудовые функции специалиста в учебную деятельность слушателей, сформировать совокупность знаний, умений и практических навыков, обеспечивающих получение заданных образовательных результатов (компетенций) и выбрать адекватные образовательные технологии для их формирования.

Образовательная программа ДПО должна иметь модульную организацию. Необходимо также предусмотреть возможность реализации базовых (общепрофессиональных) модулей образовательной программы в дистанционном режиме. Учебно-методический комплекс (УМК) должен содержать рабочие программы учебных модулей, контрольно-измерительные материалы с описанием способов их использования для оценивания знаниевых и компетентностных результатов обучения.

Основу образовательных программ ДПО в сфере приборостроения должны составить практические работы на оборудовании компании и выполнение выпускных работ по заданной руководством компании тематике. Обучающиеся по опережающим образовательным программам специалисты проходят стажировку на промышленном оборудовании ведущих предприятий отрасли или на исследовательском оборудовании в ведущих профильных научных центрах.

В период разработки образовательной программы и УМК решаются следующие задачи:

- изучаются и уточняются совместно с представителями работодателя трудовые функции специалистов, а также соответствующий им перечень трудовых действий (перечень процессов и операций), обеспечивающих выполнение этих трудовых функций;

- выделяются системные профессиональные компетенции как образовательные результаты программы, обеспечивающие выполнение специалистами требуемых работодателями трудовых функций;

- определяются единичные профессиональные компетенции – совокупность знаний, умений и опыта практической деятельности, позволяющих подобрать показатели для оценивания уровня сформированности компетенций слушателей после прохождения ими переподготовки;

- подбираются адекватные поставленным задачам образовательные технологии, обеспечивающие получение заданных образовательных результатов – формирование у слушателей дополнительных профессиональных компетенций;

- выбираются и обосновываются содержание и формы организации учебной деятельности;

- разрабатываются УМК (программы профессиональных модулей, контрольно-измерительные материалы для оценивания знаниевых и компетентностных результатов обучения), обеспечивающие образовательную программу;

- проектируется и согласовывается с работодателем (заказчиком) общепрофессиональный (базовый) модуль, который разрабатывается в формате, пригодном для преподавания в режиме e-learning;

- подбираются образовательные технологии, позволяющие работать со слушателями в режиме e-learning: видеолекции, самостоятельное изучение теоретического материала, лабораторные занятия, вебинары, виртуальные лабораторные работы и т. д.

В ИжГТУ имени М. Т. Калашникова разработаны и реализованы образовательные программы профессиональной переподготовки в сфере приборостроения: «Разработка и производство танталовых чип-конденсаторов и суперконденсаторов», «Проектирование и контроль качества накопителей энергии на основе наноструктурированных материалов» для предприятия «Элеконд».

Реализация данных проектов выполняется в рамках сетевого взаимодействия с ведущими российскими и зарубежными вузами, такими как Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева, Тамбовский государственный технический

университет, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Технологический университет г. Брно (Чехия).

Решение данных задач позволяет изменить квалификацию специалиста в сфере приборостроения, доведя ее до требуемого работодателем уровня.

Быстрый рост экономики, развитие новых сфер производства и нанотехнологий требуют качественной подготовки технически грамотных инженерных кадров в сфере приборостроения.

### **The system of professional training of engineering personnel in Kalashnikov Izhevsk State technical University in the field of instrumentational engineering**

**Abstract.** *The purpose of programs of professional retraining is to meet the engineering staffing needs of industrial enterprises through the formation of professional competencies.*

**Keywords:** educational program, additional professional education, job functions, competence, educational-methodical complex.

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

УДК 621.389

*А. А. Бабошкина, студентка*

*Г. Д. Бабошкин, магистрант*

*П. А. Ушаков, д-р техн. наук, проф.*

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

### Анализ целесообразности реализации ФАПЧ на элементах с фрактальным импедансом

*Описана структурная схема классических ФАПЧ и перечислены параметры, определяющие качество системы. Высказано предположение, что использование в петле ФАПЧ элементов с фрактальным импедансом (ЭФИ) позволит улучшить эффективность ФАПЧ. Это предположение подкрепляется анализом частотных характеристик цепей, содержащих ЭФИ, и теоретическими и экспериментальными результатами, полученными при анализе ФАПЧ, содержащих ЭФИ, другими исследователями.*

**Ключевые слова:** фазовая автоподстройка частоты, элемент с фрактальным импедансом, генератор, управляемый напряжением дробного порядка.

Петля фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) – это необычайно универсальная схема, широко используемая в современных системах электросвязи для реализации разнообразных функций, включая модуляцию, демодуляцию, обработку сигнала, восстановление несущей и тактовой частоты, генерацию частоты, синтез частот и множество других приложений в области электросвязи [5].

Структурная схема ФАПЧ состоит из трех основных элементов: фазовый детектор (ФД), фильтр нижних частот (ФНЧ) и генератор, управляемый напряжением (ГУН). Структурная схема ФАПЧ представлена на рис. 1. ФД сравнивает частоту и фазу входного сигнала ФАПЧ и выходного сигнала ГУН. Таким образом, на выходе ФД можно обнаружить четыре гармоники: гармонику собственной частоты ГУН ( $F_{\text{ГУН}}$ ), гармонику опорного сигнала ( $F_{\text{ОС}}$ ), гармонику их суммы и гармонику их разности. ФНЧ отфильтровывает сигнал ФД, тем са-

мым выделяя гармонику разности или, как мы его будем называть, сигнал ошибки. Сигнал ошибки представляет собой уровень напряжения, который поступает на вход ГУН, меняя частоту его выходного сигнала. Этот цикл повторяется до тех пор, пока сигнал ошибки не станет постоянной величиной. До этого момента он будет представлять собой биения аналогового уровня напряжения.

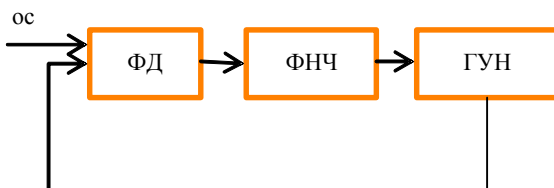


Рис. 1. Структурная схема ФАПЧ: ФД – фазовый детектор; ФНЧ – фильтр нижних частот; ГУН – генератор, управляемый напряжением; ос – опорный сигнал

ФАПЧ работает в трех основных режимах:

- 1) Автономный режим (режим собственной частоты).
- 2) Режим захвата.
- 3) Режим слежения.

В автономном режиме отсутствует опорный (входной) сигнал, и ФАПЧ работает на собственной частоте настройки ГУН.

В режиме захвата задачей ФАПЧ является подстроить собственную частоту работы ГУН под частоту опорного сигнала. Этот же режим работы был описан выше.

Когда на выходе ФНЧ появляется сигнал ошибки с частотой 0 Гц, ФАПЧ переходит в режим слежения частоты, который основывается на поддержании разности фаз между опорным сигналом и сигналом с выхода ГУН.

Во всех трех режимах роль цепи обратной связи играет ГУН. Именно ГУН определяет быстродействие системы в режиме захвата, а также точность слежения в соответствующем режиме за счет следующих характеристик:

1. Область захвата – диапазон частот, в котором ФАПЧ может осуществить захват частоты опорного сигнала. Определяется шириной линейного участка полосы пропускания фазосдвигающей цепи ГУН.

2. Область удержания – диапазон частот, в котором ФАПЧ может осуществить слежение за опорным сигналом. Также определяется полосой пропускания фазосдвигающей цепи ГУН, а также частотной характеристикой ФНЧ.

Дело в том, что именно линейный участок АЧХ ГУН определяет диапазон управляющих напряжений. Поэтому в современных ФАПЧ используются ГУН с применением триггера Шмидта. Фазосдвигающая цепь таких ГУН определяется внешними элементами интегратора, используемого в схеме. Как известно, интегратор обеспечивает близкую к идеальной линейную АЧХ с углом наклона  $-6$  дБ/окт.

В современной схемотехнике такие ГУН являются лучшими в плане чувствительности и обеспечивают широкие полосу захвата и полосу слежения ФАПЧ. Однако, если создать ГУН, АЧХ фазосдвигающей цепи которого будет иметь угол наклона менее  $-6$  дБ/окт, то это, теоретически, обеспечит еще более высокую чувствительность ГУН и более высокое быстродействие ФАПЧ.

Такие характеристики фазосдвигающих цепей ГУН можно получить, используя вместо конденсатора ЭФИ. ЭФИ – это элементы с распределенными параметрами, характеристическое уравнение импеданса которых описывается следующим выражением [3]:

$$Z_{Fc} = \frac{1}{\omega^\alpha C_\alpha} e^{-j\alpha\frac{\pi}{2}}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – порядок элемента, лежащий в пределах от 0 до 1;  $C_\alpha$  – фрактальная емкость элемента.

Выражение (1) представлено для фрактального конденсатора. Теоретические, конструктивные, технологические и схемотехнические основы ЭФИ на основе многослойной резистивно-емкостной среды подробно представлены в [4].

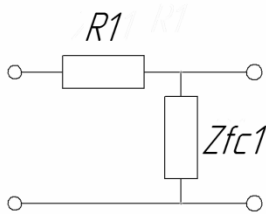


Рис. 2. Схема фильтра с ФЭ

В [2] рассматриваются частотные характеристики типовых фильтров нижних и верхних частот, содержащих ЭФИ. Было замечено, что, использование ЭФИ в аналоговых цепях, позволяет создать фильтр, вносящий в сигнал задержку менее  $90^\circ$ , а так же обладающий АЧХ с крутизной менее 6 дБ/окт. Схема такого фильтра и его частотные характеристики представлены на рис. 2 и 3.

Из рис. 3 видно, что крутизна АЧХ фильтра составляет  $-5$  дБ/дек. Используя фрактальные элементы, можно реализовать контур с необходимым наклоном линейной части АЧХ, тем самым создав чувствительный ГУН.



Экспериментальная проверка повышения эффективности ФАПЧ, содержащих ЭФИ взамен традиционных конденсаторов, была проведена в работе [1]. Результаты эксперимента показывают, что использование ЭФИ в цепях ФАПЧ позволило расширить полосу захвата почти на 30 % и увеличить чувствительность ГУН на 12 % в сравнении с аналогичными показателями ФАПЧ целого порядка.

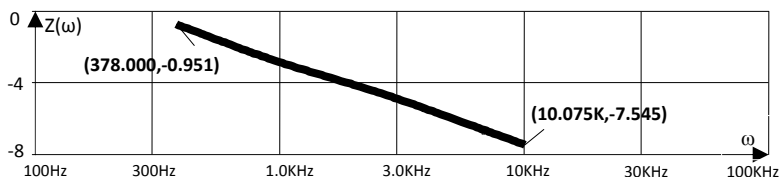


Рис. 3. АЧХ фильтра с ФЭ

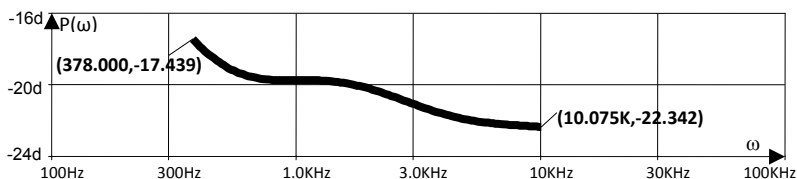


Рис. 4. ФЧХ фильтра с ФЭ

На кафедре «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры» разработана программа синтеза конструкций ЭФИ на основе однородных многослойных резистивно-емкостных элементов со структурой слоев R-C-NR и имеется опыт изготовления ЭФИ по толсто пленочным и тонко пленочным технологиям. Поэтому у нас есть теоретическая и элементная база для проведения исследования и экспериментов в области ФАПЧ, содержащих ЭФИ, для того чтобы получить системы ФАПЧ с наилучшими характеристиками.

На наш взгляд, применение ЭФИ в современной схемотехнике может значительно расширить область применения аналоговых систем контроля и автоматизации, а также увеличить точность обработки малых ошибок.

### Список литературы

1. Design and performance study of phase-locked loop using fractional-order loop filter / M. C. Tripathy, D. Mondal, K. Biswas, S. Sen // Int. J. of Circuit Theory and Applications, pp. 17.

2. *Бабошкин, Г. Д.* Анализ частотных характеристик электрических цепей, содержащих фрактальные элементы / Г. Д. Бабошкин, Е. О. Данилов, П. А. Ушаков // Приборостроение в XXI веке – 2014. Интеграция науки и производства : сб. науч. тр. – Ижевск, 2014. – С. 262–266.

3. *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.

4. *Ушаков, П. А.* Методы анализа и синтеза многослойных неоднородных RC-элементов с распределенными параметрами и устройств на их основе : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Казань : КГТУ, 2009. – 35 с.

5. *Томаси, У.* Электронные системы связи. – М. : Техносфера, 2007. – 1358 с.

## **Analysis of the feasibility of the fractional-order PLL**

**Abstract.** *The conventional PLL structure diagram is noted, and the main PLL customs are listed. The hypothesis, that PLL efficient may be increased by using fractional-order component in PLL, is proposed. This hypothesis is supported by frequency domain analyze of fractional-order circuit and theoretical and experimental results of fractional PLL getting by other scientists.*

**Keywords:** phase-locked loop, fractional order component, fractional order voltage-controlled oscillator.

*В. Н. Белослудцев, студент*

*Е. С. Бояринцева, студентка*

*В. Н. Ширококов, студент*

*А. В. Драчев, студент*

*В. А. Глушков, канд. техн. наук, доц.*

E-mail: GL@idz.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Концепция наноспутника ИжГТУ имени М. Т. Калашникова**

*Приводится концептуальное описание проекта по разработке студенческого наноспутника формата CubeSat.*

**Ключевые слова:** Cubesat, наноспутник, искусственный спутник.

### **Введение**

В настоящее время на рынке имеется широкий ассортимент стандартизированных комплектующих для наноспутников, что позволяет небольшим организациям на базе готовых моделей разрабатывать свои проекты (миссии) для исследований в космосе. Самый распространенный вариант – это наноспутники модульной структуры формата CubeSat.

### **Назначение разработки**

Разработка студенческого наноспутника ИжГТУ имени М. Т. Калашникова преследует несколько целей:

1. Получение студентами и преподавателями нового опыта, знаний и умений в области разработки настоящего космического аппарата.

2. Подготовка реального эксперимента в космических условиях: изучение динамики влияния совокупности космических воздействий на конкретной околоземной орбите на хранение и считывание информации с полупроводникового устройства памяти типа «flash». Это является миссией разрабатываемого космического аппарата.

3. Пропаганда и популяризация технического образования в области проектирования электронной аппаратуры в ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова».

Для достижения данных целей планируется решение следующих задач:

1. Сформировать комплектацию штатной аппаратуры и конструкции космического аппарата.
2. Сформировать комплектацию наземной аппаратуры.
3. Разработать модуль полезной нагрузки, реализующей экспериментальные исследования.
4. Определить режимы функционирования бортовой аппаратуры.
5. Определить план эксперимента.

### **Состав разработки**

#### ***Полезная нагрузка***

Модуль полезной нагрузки будет представлять из себя печатный узел с установленной на нем микросхемой flash-памяти, сопутствующими схемами записи/чтения информации с нее и интерфейсом для обмена данными со штатной бортовой аппаратурой. В исследуемой микросхеме flash-памяти планируется записать контрольную текстовую информацию двумя способами: обычным и в виде помехозащищенного избыточного кода, который позволяет минимизировать возможность ее потери. В качестве таковой контрольной информации предполагается записать следующий текст:

«Russia. Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Faculty of Instrumentation Engineering, Department of Radio Electronic Design, Vladimir Taranukha is the head of the Department, Vladimir Glushkov is the scientific director, Students: Vladislav Belosludtsev, Ekaterina Boyarintseva, Aleksandr Drachev, Viktor Shirobokov. p.istu.ru/kra».

Данная информация будет транслироваться в открытом коде на частоте из разрешенного диапазона общего пользования. Следовательно, она будет доступна всем, кто обладает приемной аппаратурой и будет находиться в области пролегания орбиты спутника. Таким образом достигается пропагандистский эффект.

#### ***Состав штатной бортовой аппаратуры***

Для реализации указанной исследовательской миссии подходит структура CubeSat 2U, поскольку данный конструктив позволяет разместить все необходимое бортовое оборудование и модуль полезной нагрузки.

Состав бортового оборудования следующий:

1. Корпус **2-Unit CubeSat Structure** (рис. 1). Габаритные размеры корпуса 100×100×227 мм. Он способен вмещать нагрузку с габаритами 98,4×98,4×98,4 мм и совместим со всеми товарами поставщика. Для удобства работы оснащен съемными боковыми панелями.

2. Бортовой компьютер **NanoMind A712D** (рис. 2). Имеет высокую производительность, предустановленное программное обеспечение, встроенную систему стабилизации пространственного положения, а также совместим с продуктами сторонних поставщиков.

3. Система питания **NanoPowerPack 2U** (рис. 3).

3.1. Силовой модуль (рис. 3, а). Повышает вырабатываемую мощность до 30 Вт.

3.2. Боковые солнечные панели (7 шт.) (рис. 3, б). Имеют КПД до 30 %; вырабатываемое напряжение до 4,6 В при токе до 500 мА.

3.3. Фронтальные солнечные панели (3 шт.) (рис. 3, в). Имеют КПД до 30 %, температурные датчики; вырабатываемое напряжение до 4,84 В при токе до 508 мА.

3.4. Промежуточные панели для подключения (4 шт.) (рис. 3, г).

4. Модуль стабилизации пространственного положения **CubeControl** (рис. 4). CubeControl способен управлять магнетометрами, маховиками и шаговыми двигателями. Имеет необходимые интерфейсы для подключения магнитометров, датчиков солнца и скорости.

5. Трансивер **ISIS VHF downlink / UHF uplink Full Duplex Transceiver** (рис. 5). Трансивер способен одновременно передавать и получать информацию, работать в режиме маяка. Прием информации осуществляется на сверхвысоких частотах (30–300 МГц), передача – на ультравысоких (0,3–3 ГГц). Скорость приема сигнала от 1200 б/с, передачи – до 1200 б/с. Обладает функциями телеметрии и телеуправления.

6. GPS-module **GPSRM 1 GPS Receiver Module** (рис. 6). Модуль позволяет определить координаты спутника. В зависимости от модели может работать с отслеживающими сигналами L1/L2/L2C GPS и/или L1/L2 GLONASS.

7. Антенна для передачи сигнала **Deployable Antenna System for CubeSats** (рис. 7). Антенна состоит из 4 отдельных складных антенн, разворачивающихся при выходе на орбиту и имеющих длину до 55 см; оборудована солнечной панелью.

8. Контейнер для запуска спутника **2-Unit CubeSat Deployer** (рис. 8). Разработан специально для спутников выбранного формата и размера. Напряжение импульса срабатывания – 28 В, потребляемый ток – 1,75 А; температура окружающей среды для оптимального запуска – от –30 до +80 °С; масса – 1,75 кг.

#### *Состав наземного оборудования*

В комплект оборудования наземного комплекса должны входить антенны с возможностью настройки их пространственной ориентации, и приемо-передающая аппаратура соответствующих радиодиапазонов:

1. Антенна для приема сигнала со спутника **Full Ground Station Kit for VHF/UHF/S-band**.

2. Приемник для наземной станции диапазона S (**S-band Ground Station Receiver**). Прием сигнала на частотах от 2200 до 2500 МГц. Питание переменным напряжением от 85 до 264 В (50–60 Гц).

3. Трансивер УКВ для наземной станции (**VHF/UHF Ground Station Transceiver**). Скорость приема данных до 9,6 кб/с, передачи – до 1,2 кб/с. Питание переменным напряжением от 88 до 264 В (50–60 Гц). Работа в диапазонах частот от 144 до 170 МГц в СВЧ и от 435 до 470 МГц в УВЧ.

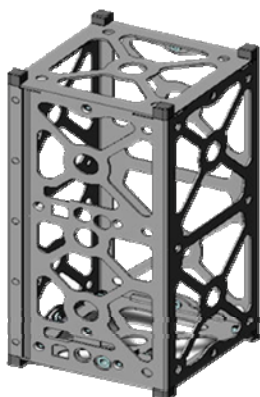


Рис. 1. Корпус 2-U



Рис. 2. Бортовой компьютер

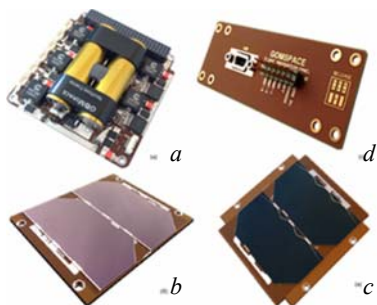


Рис. 3. Система питания

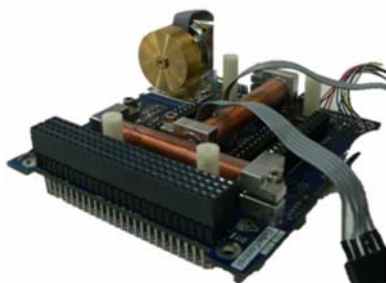


Рис. 4. Модуль стабилизации пространственного положения



Рис. 5. Трансивер



Рис. 6. GPS-Модуль

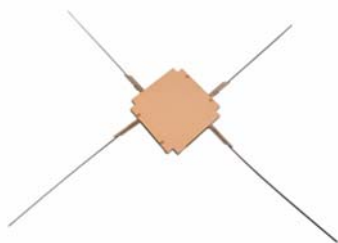


Рис. 7. Антенна



Рис. 8. Контейнер для запуска

### ***Ориентировочная смета расходов на оборудование и узлы***

Ориентировочная смета приведена в таблице. В ней не учитываются расходы на доставку, растаможивание, сборку, настройку, программирование, наземные испытания.

#### **Ориентировочная смета бортового оборудования**

| №                               | Название компонента       | Наименование   | Цена     |
|---------------------------------|---------------------------|--|----------|
| <b>Орбитальное оборудование</b> |                           |  |          |
| 1                               | Корпус                    | 2-Unit CubeSat Structure                               | € 2 950  |
| 2                               | Бортовой компьютер        | NanoMind A712D – CubeSat Onboard Computer              | € 4 750  |
| 3                               | Модуль питания (комплект) | NanoPowerPack2U  | € 22 000 |
| 4                               | Система стабилизации      | Cube Control   | € 4 200  |
| 5                               | Трансивер                 | ISIS VHF downlink / UHF uplink Full Duplex Transceiver | € 8 500  |

Окончание табл.

| №                            | Название компонента                      | Наименование                               | Цена     |
|------------------------------|--|--|----------|
| 6                            | GPS-модуль                               | GPSRM 1 GPS Receiver Module                | € 7 980  |
| 7                            | Развертываемая антенна                   | Deployable Antenna System for CubeSats     | € 4 500  |
| 8                            | Контейнер для запуска                    | 2-Unit CubeSat Deployer                    | € 6000   |
| <b>Наземное оборудование</b> |  |  |          |
| 9                            | Антенна, УКВ трансивер и S-band приемник | Full Ground Station Kit for VHF/UHF/S-band | €45 000  |
| Всего:                       |  |  | € 105880 |

## Выводы

Таким образом, определена комплексная цель и миссия проектируемого именованного наноспутника ИжГТУ имени М. Т. Калашникова формата CubeSAT – изучение динамики влияния совокупности космических воздействий на конкретной околоземной орбите на хранение и считывание информации с flash-памяти. Спутник предполагается оснастить специально разработанным исследовательским модулем полезной нагрузки. Проведена предварительная оценка стоимости стандартных комплектующих и оборудования для орбитального и наземного сегментов.

## Список литературы

1. ISIS – Innovative Solutions in Space BV [Сайт]. – URL: <http://www.cubesatshop.com> (дата обращения: 21.11.2015).
2. GomSpace [Сайт]. – URL: <http://gomspace.com> (дата обращения: 21.11.2015).
3. CubeSat Kit [Сайт]. – URL: <http://www.cubesatkit.com> (дата обращения: 21.11.2015).

## Kalashnikov ISTU nanosatellite concept

**Abstract.** *The article describes the concept of a CubeSat student nano-satellite.*

**Keywords:** Cubesat, nano-satellite, payload, ground station.



*Н. В. Вахрушев*, студент  
E-mail: novaro30@gmail.com  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Параметрическая оптимизация электрических схем РЭС

*При проектировании электронных схем разработчик редко использует точный расчет параметров компонентов схемы. На практике обычно применяется ориентировочный расчет параметров с последующим анализом схемы в программах схемотехнического моделирования. При этом выходная функция схемы может выходить за пределы заданного допуска, поэтому необходима настройка схемы, которую можно выполнить, используя алгоритм параметрической оптимизации.*

**Ключевые слова:** параметрическая оптимизация, электрические схемы, SPICE-моделирование, ASCO, LTSpice IV.

Процесс проектирования электронных средств связан с проведением точных математических расчетов параметров электронных компонентов. На практике быстрее и проще провести ориентировочный расчет номиналов электронных компонентов, с последующим анализом в программах схемотехнического моделирования.

Существует два способа определения оптимальных параметров электронных компонентов: 1) многократное моделирование схемы при ручном изменении параметров элементов с целью определения влияния каждого из них на значения требуемых выходных характеристик с последующим подбором и фиксацией требуемых значений; 2) автоматизированный подбор параметров при помощи программ оптимизации [1].

Инструменты оптимизации могут входить в состав программ схемотехнического моделирования. Примерами таких программ являются: Micro-Cap 11; OrCAD; Microwave Office; Tina v10 [2–5]. К сожалению, все представленные программы являются платными. Из свободно распространяемых программ встроенными инструментами оптимизации обладает лишь программа Qucs [6], однако скорость моделирования и оптимизации данной программы программы крайне низка.

Методы оптимизации могут быть различны генетические алгоритмы, метод наименьших квадратов, алгоритм случайного выбора, метод

перебора [7, 8]. Однако алгоритм оптимизации универсальный и представлен на рис. 1.

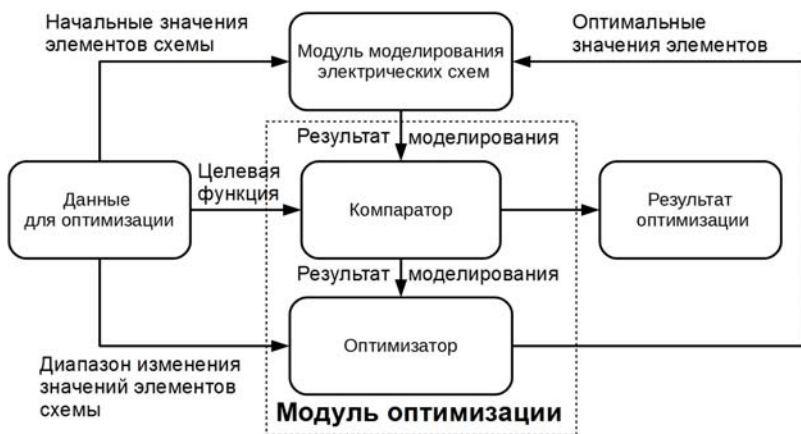


Рис. 1. Алгоритм оптимизации

В качестве модуля моделирования целесообразно использовать свободно распространяемые программы, такие как LTspice IV, idealCircuit, ngspice, TINA-TI, SimOne, HSPICE и другие [9]. Однако ни одна из них не имеет встроенного модуля оптимизации. Поэтому необходимо использовать внешний модуль оптимизации. В качестве такого модуля можно использовать свободно распространяемый оптимизатор электронных схем ASCO (A SPICE Circuit Optimizer) [7].

Рассмотрим основные особенности программы ASCO:

- Текущая версия программы поддерживает такие программы моделирования, как Eldo™, HSPICE®, LTspice™, Spectre®, Qucs и ngspice.
- Количество оптимизируемых переменных, теоретически, не ограничено.
- Высокая эффективность обеспечивается алгоритмом дифференциальной эволюции, что обеспечивает хорошие результаты при приемлемых временных затратах.
- Возможны параллельные вычисления с использованием нескольких ядер одного компьютера либо с использованием нескольких компьютеров, объединенных сетью.
- Результаты оптимизации хранятся в незашифрованном текстовом формате, что позволяет обработать результаты на любом компьютере, не зависимо от того, установлена ли на нем программа ASCO. Также

это позволяет использовать эти файлы в других программах для дальнейшего анализа или оптимизации.

- Программа является полностью бесплатной для копирования, модифицирования и распространения, удовлетворяет лицензионному соглашению GNU GPL.

Приложение работает на операционных системах Windows и Linux, но предпочтительнее использовать Linux.

Рассмотрим пример использования программы ASCO совместно с программой схемотехнического моделирования LTSpice IV, которая имеет интуитивно понятный графический интерфейс, высокую скорость и точность моделирования.

Алгоритм оптимизации в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 2.



Рис. 2. Применяемый алгоритм оптимизации

Программа ASCO не имеет графического интерфейса и требует ввода входных данных (целевая функция, начальные параметры компонентов, диапазон изменения параметров компонента, условия завершения процесса оптимизации) в виде текстовых файлов. Файлы, необходимые для проведения оптимизации электронной схемы, с их кратким описанием показаны в табл. 1. Результаты оптимизации (оптимальные значения параметров компонентов) также выводятся в виде текстовых файлов. Файлы с результатами оптимизации с их кратким описанием показаны в табл. 2.

Использование совместной работы программ ASCO и LTSpice при оптимизации параметров фрактальных компонентов со структурой вида R-C-NR впервые показано в бакалаврской работе автора: Синтез и оптимизация параметров фрактальных элементов RC-ЭПП со струк-

турой слоев вида RCNR. Такая структура имеет схему замещения, количество элементов которой превышает 25000, часть схемы показана на рис. 3. Один из примеров оптимизации, рассмотренных в работе, показан на рис. 4.

**Таблица 1. Файлы с данными, необходимыми для проведения оптимизации**

| № п/п | Имя и расширение файла | Содержание файла   |
|-------|------------------------|--|
| 1     | <название проекта>.net | Файл списка схемных соединений, импортированный из программы моделирования, с указанием на оптимизируемые компоненты |
| 2     | <название проекта>.cfg | Файл конфигураций, в нем, в текстовом виде, задается целевая функция и диапазон значений оптимизируемых компонентов  |
| 3     | Папка extract/         | Папка команд для LTspice, определяющих текущее значение оптимизируемой функции                                       |

**Таблица 2. Файлы с результатами оптимизации**

| № п/п | Имя и расширение файла | Содержание файла   |
|-------|------------------------|--|
| 1     | <Имя компьютера>.tmp   | Временный файл, содержащий список схемных соединений с учетом текущих оптимальных параметров |
| 2     | <Имя компьютера>.log   | Журнал результатов моделирования для каждого шага оптимизации                                |
| 3     | <Имя компьютера>.net   | Файл списка схемных соединений, полученный в результате оптимизации                          |
| 4     | asco.log               | Журнал оптимизации, содержащий данные о сходимости функций на каждом шаге оптимизации        |

В данном случае оптимизация проводилась с целью уменьшения неравномерности фазы ФЧХ входного импеданса фрактального компонента в диапазоне частот 220 Гц – 73 кГц.

Из графиков видно, что неравномерность ФЧХ в оптимизируемом диапазоне уменьшился с двух градусов до 1,8 градуса. Важно отметить, что неравномерность ФЧХ в диапазоне от 300 Гц – 20 кГц крайне мала и составляет десятые доли градуса.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что, используя совместную работу бесплатных программ LTspice и ASCO, можно обеспечить эффективную параметрическую оптимизацию электронных схем с большим числом схемных элементов.

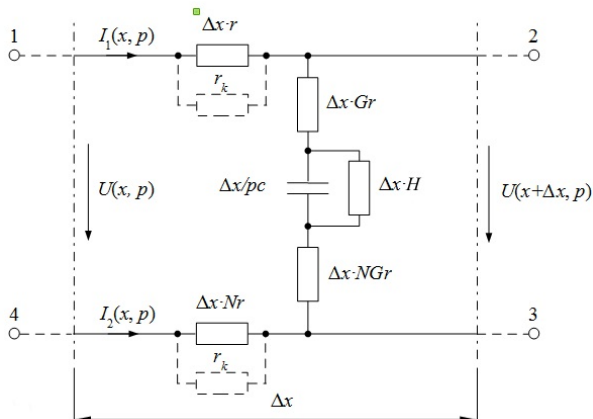


Рис. 3. Выбранная схема оптимизации

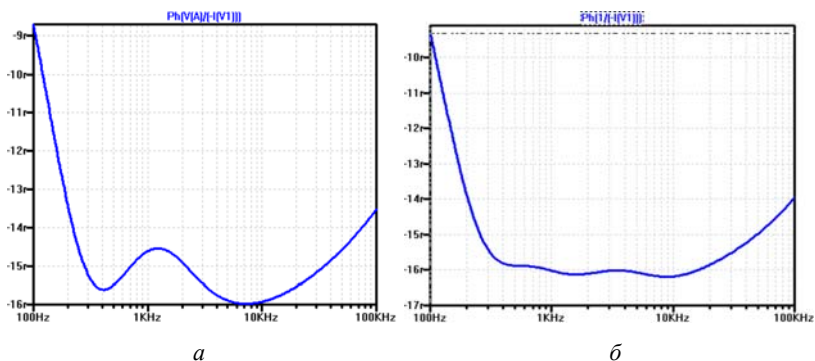


Рис. 4. Пример оптимизации связкой программ LTspice и ASCO: ФЧХ до оптимизации (а); ФЧХ после оптимизации (б)

### Список литературы

1. Дерюшев, А. А. Применение САПР Orcad для расчета и проектирования электрических схем : учеб. пособие по курсу «Основы автоматизированного проектирования электромеханических систем» для студ. спец. «Информационные технологии и управление в технических системах» всех форм обучения / А. А. Дерюшев, И. Л. Свито, В. Б. Беляков. – Мн. : БГУИР, 2006. – 66 с.
2. Micro-Cap 11: Product Information [Электронный ресурс] // Spectrum Software [Сайт]. – URL: <http://www.spectrum-soft.com/demo.shtm> (дата обращения: 25.10.2015).

3. What is OrCAD Capture? [Электронный ресурс] // OrCADTM, CADANCE PCB SOLUTION [Сайт]. – URL: [http://www.orcad.com/sites/orcad/files/resources/files/OrCAD\\_Capture\\_Final.pdf](http://www.orcad.com/sites/orcad/files/resources/files/OrCAD_Capture_Final.pdf) (дата обращения: 25.10.2015).
4. Microwave Office [Электронный ресурс] // NI AWR Design Environment [Сайт]. – URL: <http://www.awrcorp.com/ru/products/microwave-office> (дата обращения: 25.10.2015).
5. TINA v10: Optimization [Электронный ресурс] // DesignSoft [Сайт]. – URL: <http://www.tina.com/optimization> (дата обращения: 25.10.2015).
6. Overall roadmap [Электронный ресурс] // Quite universal circuit simulator [Сайт]. – URL: <http://qucs.sourceforge.net/road.html> (дата обращения: 25.10.2015).
7. Joao Ramos. ASCO: A SPICE Circuit Optimizer [Электронный ресурс]. – 2013. – URL: <http://asco.sourceforge.net/doc/ASCO.pdf> (дата обращения: 9.11.2015).
8. Златин, И. Программа Advanced Analysis в режиме анализа Optimizer в PSD 15.0 и OrCAD 10.0 // Компоненты и технологии. – 2005. – № 6 – С. 204–208.
9. САД-программы [Электронный ресурс] // САЙТ ПАЯЛЬНИК [Сайт]. – URL: [http://cxem.net/software/soft\\_CAD.php](http://cxem.net/software/soft_CAD.php) (дата обращения: 25.10.2015).

## Parametric optimization of electrical circuits

**Abstract.** *The designer rarely uses precise calculation of the circuit components in the design of electronic circuits. Rough calculation of parameters with the following circuit analysis in circuitry modeling programs is generally used in practice. Herewith the circuit output function may go beyond of specified tolerance. That's why the circuit tuning is needed, which can be performed using parametric optimization algorithm.*

**Keywords:** Parametric optimization, electrical circuits, SPICE-simulatio, ASCO, LTSpice IV.

*А. С. Вершинин*, магистрант  
*С. В. Моченов*, канд. техн. наук, проф.  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Разработка алгоритмов работы контрольно-проверочной аппаратуры бортового цифрового вычислительного комплекса**

*В данной статье излагается материал об этапах разработки одного из алгоритмов работы контрольно-проверочной аппаратуры бортового цифрового вычислительного комплекса. Данный комплекс служит для управления космического аппарата и обеспечивает надежную его работу. В качестве примера взята проверка управления питанием. Значения параметров, описанные в таблице, взяты условно и не соответствуют действительности.*

**Ключевые слова:** космический аппарат, контроль, проверка, алгоритм, разработка.

Для обеспечения надежной работы контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) и устранения неисправностей в автоматизированном режиме поставлен ряд задач, одной из которой является разработка алгоритмов проверки работоспособности КПА бортового цифрового вычислительного комплекса (БЦВК), а другой – программная реализация алгоритмов на языке МАР. Для разработки алгоритмов проверки работоспособности КПА БЦВК составлен следующий план работ:

- 1) составить описание для каждой проверки, куда должны входить: последовательность выполнения, описания входных и выходных параметров, перечень необходимого оборудования, алгоритм выполнения проверки, схема подключения заглушек к коммутационной панели КПА БЦВК;
- 2) перевести алгоритмы проверок на язык МАР и провести компиляцию полученной программы;
- 3) осуществить отладку проверок на КПА БЦВК;
- 4) сделать выводы по проделанной работе.

### **Общие сведения о БЦВК**

Бортовые цифровые вычислительные комплексы для спутниковых платформ предназначены для реализации алгоритмов управления

и контроля долгоресурсных Космических Аппаратов. Комплекс разрабатывается на базе радиационно-стойкого процессора AT697FM компании Atmel. Устойчивость к сбоям и отказам обеспечивается за счет применения:

- тройного модульного резервирования внутри логических узлов;
- дублирования составных частей БЦВК;
- возможности реконфигурации комплекса;
- устойчивой к сбоям элементной базы.
- последовательного интерфейса SpiceWire для организации надёжного обмена между составными частями БЦВК;
- системы коррекции ошибок при работе с запоминающим устройством [1].

### **Общие сведения о КПА БЦВК**

КПА БЦВК обеспечивает:

1. Управление питанием БЦВК.
2. Информационный обмен по дублированному мультиплексному каналу обмена (МКО).
3. Выдачу команд управления.
4. Прием и анализ Телеметрической Информации (ТМ).
5. Прием и анализ информации со специализированных датчиков.

КПА БЦВК обеспечивает возможность изъятия отдельных устройств для проведения дополнительных работ вне рабочего места.

Программное обеспечение (ПО) КПА БЦВК на основании алгоритмов проверки обеспечивает:

1. Формирование последовательностей и объёмов проверок.
2. Испытание КПА БЦВК проводится в соответствии с разработанными алгоритмами.
3. Управление ходом выполнения проверок.
4. Автоматическую регистрацию хода выполнения проверок и оценку их результатов.

### **Общие сведения о сценариях проверки**

Каждая проверка параметра (характеристика) ОК в ПО КПА БЦВК представляется последовательным набором действий, записанных на языке MAP. Каждый такой набор является сценарием выполнения проверки.

Сценарий может иметь несколько параметров сценария. Параметры сценария делятся на входные и выходные. Для каждого вызова сценария в дереве проверок определен набор значений входных параметров.



Выбирается только одно значение на каждый входной параметр соответствующего сценария.

При выполнении сценария в базу данных (БД) записываются значения выходных параметров. Для каждого выходного параметра в базу данных сохраняется одно значение, соответствующее текущему выполнению проверки. Если сценарий завершается с ошибкой, он может не записать значения всех выходных параметров.

Для выполнения отдельной проверки нужно выполнить (вызвать) сценарий с заданными параметрами.

В общем случае сценарий проверки состоит из следующих основных шагов:

1) проверка наличия необходимого оборудования для проведения проверки (список оборудования определяется для каждой проверки);

2) создание канала проверки, состоящего из нужных цепей для проведения проверки;

3) установка исходного состояния оборудования канала;

4) настройка оборудования для проведения проверки: загрузка в приборы уставок, характерных для каждого прибора;

5) загрузка программы, установка входных данных;

6) запуск проверки (запуск измерений);

7) запись результатов работы программы (результатов измерения) в БД;

8) анализ и запись результатов анализа в БД заключается в сравнении с показаниями внешнего датчика;

9) завершение проверки и освобождение канала.

Каждый шаг алгоритма логируется. Логирование – процесс записи информации о ключевых событиях сценария в специализированный файл. Логирование выполняется на всем протяжении работы сценария. Обработка сбойных или ошибочных ситуаций реализуется в обработчике ошибок.

### **Описание проверки управления дежурным питанием**

Рассмотрим разработку алгоритмов тестирования на примере проверки управлением дежурным питанием. Составим описание проверки с помощью заглушки. Данная проверка должна реализовать следующие действия:

1) источником питания выдать напряжения (с использованием обратной связи);

2) проконтролировать токи в соответствии с табл. 1. (значение данных параметров взяты условно и не соответствуют действительности).

Таблица 1

| Канал | Номинальное сопротивление, Ом | Напряжение, В | Ток, мА |
|-------|-------------------------------|---------------|---------|
| А     | 100                           | 2             | 20±1,5  |
| В     | 150                           | 3             | 20±1,5  |
| С     | 200                           | 4             | 20±1,5  |

Далее произведем описание входных и выходных параметров (значения взяты условно). Входные параметры будут представлены в табл. 2, а выходные – в табл. 3. Оборудование, используемое при проведении проверки, представлено в табл. 4.

Таблица 2. Описание входных параметров

| Имя параметра                      | Значение |
|------------------------------------|----------|
| Имя проверяемого канала            | А, В, С  |
| Амплитуда напряжения для канала. В | 2, 3, 4  |
| Значение тока (норма), мА          | 20       |
| Значение тока (допуск), мА         | 1,5      |

Таблица 3. Описание выходных параметров

| Имя параметра                | Значение |
|------------------------------|----------|
| Измеренное значение тока, мА |          |

Таблица 4. Список оборудования

| № | Аппаратура       | Применение                       |
|---|------------------|----------------------------------|
| 1 | Источник питания | Формирование напряжения питания. |
| 2 | Мультиплексор    | Коммутация цепей                 |
| 3 | Мультиметр       | Измерение значения токов         |

Схема подключения заглушки представлена на рис. 1.



Рис. 1. Подключение заглушки

Теперь приступаем к разработке алгоритма проверки управления дежурным питанием в соответствии с описанием проверки.

Последовательность выполнения проверки на КПА БЦВК:

- процесс загрузки теста;
- настройка и проверка входных данных;
- съем ТМ-информации до воздействия;
- запуск теста;
- ожидание ТМ-информации;
- проверка успешности ожидания ТМ-информации;
- формирование отчета по сбою/ошибке;
- запись отчета в БД КПА БЦВК;
- проверка наличия технологического режима;
- проверка выходных данных;
- обнаружение неисправностей;
- формирование отчета по сбою/ошибке;
- формирование общего отчета по проверке;
- запись всех отчетов в БД КПА БЦВК.

Основываясь на описании проверки и алгоритма проверки, необходимо написать программу на языке MAP. В дальнейшем провести отладку программы. Готовую программу запустить на КПА БЦВК.

Укрупненная схема проверки продемонстрирована на рис. 2.

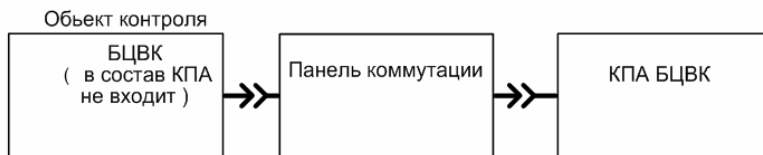


Рис. 2. Укрупненная схема проверки

В процессе выполнения тестирования для каждой проверки разработана своя заглушка для коммутации, которая представляет собой кабель.

В результате проделанной работы получится разработанный и отлаженный пакет алгоритмов работы КПА БЦВК.

### Список литературы

1. Ижевский Радиозавод [Электронный ресурс] // Ishevsky radiozavod Россия [Сайт]. – URL: [http://www.irz.ru/uploads/files/catalog\\_11.pdf](http://www.irz.ru/uploads/files/catalog_11.pdf) (дата обращения: 29.10.2015).

## **The development of algorithms for control and test equipment in on-board digital computer complex**

**Abstract.** *In this article it described about development stages of one of algorithms of operation of the Control and test apparatra of Onboard Digital Computing Komleks. This complex serves for control of the spacecraft and ensures reliable functioning. As an example power management check is taken. The parameter values described in the table are taken conditionally and aren't true.*

**Keywords:** Space device, monitoring, check, algorithm, development.

*А. В. Ворожцов*, магистрант  
*С. В. Моченов*, канд. техн. наук, проф.  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Разработка системы контроля напряжения АКБ с передачей информации по универсальной измерительной магистрали**

*Система контроля напряжения аккумуляторных батарей (АКБ) предназначена для измерения телеметрических параметров аккумуляторных батарей в космическом пространстве. Система применяется на борту космических аппаратов. Обработка информации и выдача результатов измерения осуществляется по неэлектрической среде (в виде импульсов). Такую среду принято называть универсальной измерительной магистралью (УИМ).*

**Ключевые слова:** система, измерительная магистраль, аккумуляторная батарея, универсальная измерительная магистраль, измерительный блок, космические технологии.

Система контроля напряжения аккумуляторных батарей (АКБ) предназначена для измерения телеметрических параметров аккумуляторных батарей, их предварительной обработки и выдачи результатов измерения по универсальной измерительной магистрали (УИМ). Отправляемая информация поступает на борт космического аппарата (КА). Система предназначена для использования на перспективных изделиях разработки [2], таких как 14Ф143, «Экспресс-1000», «Луч-5А», «Луч-5Б», 14Ф141, 14Ф144 и др. ГЛОНАС, телекоммуникационные спутники-ретрансляторы, спутниковые платформы. Система представляет собой печатную плату, на которой располагаются электрорадиоизделия, необходимые для решения задач сбора информации, ее обработки и отправки. Печатная плата защищена корпусом от воздействия внешних механических воздействий.

**Экспресс 1000** [2] – серия современных спутниковых платформ негерметичного исполнения. Единая конструктивная основа платформ представляет собой силовую конструкцию в виде центральной силовой трубы с установленными на ней приборными и сотовыми панелями. Все три варианта используют одинаковые бортовой комплекс управления, системы ориентации и стабилизации и систему

коррекции. **Луч-5А** [2] – российский телекоммуникационный спутник-ретранслятор, работающий с низколетящими спутниками, с высотой орбит до 2000 км над поверхностью Земли, такими как пилотируемые космические комплексы, космические корабли, а также ракеты-носители, разгонные блоки и др. КА «Луч» будут принимать от них информацию (как телеметрическую, так и целевую) на участках полета, находящихся вне зон видимости с территории России, и ретранслировать ее в режиме реального времени на российские земные станции. В то же время будет обеспечена возможность передачи команд управления на эти КА.

**Глонасс-К** [2] – серия космических аппаратов российской глобальной навигационной системы ГЛОНАС. Космические аппараты «Глонасс-К» строятся на базе негерметичной платформы «Экспресс 1000». На корпус в форме параллелепипеда устанавливается бортовая аппаратура, способная работать в условиях открытого космоса. Мощность системы электропитания увеличена до 1,6 кВт. Кроме того, на «Глонасс-К» устанавливается аппаратура международной системы спасения терпящих бедствие Коспас-Сарсат.

Стоит задача в разработке системы на элементной базе полностью отечественного производства. В последнее время поставки импортных микросхем ограничены. Приборы для космических аппаратов всегда были актуальными, поэтому и появляется потребность в замене элементной базы для приборов. Разработка системы соответствует приоритетному направлению развития Российской Федерации – телеметрические системы в космосе. Структурная схема системы контроля напряжения аккумуляторных батарей представлена на рис. 1.

Изначально формируется сигнал «СБРОС», что обеспечивает начальную установку контроллера (ПЛИС). Задающий генератор построен на RC-элементах. Частота генератора 500 кГц. Вторичный источник питания формирует напряжение  $\pm 12$  В. Это напряжение поступает на коммутатор и источник питания (ИП). ИП из напряжения  $\pm 12$  В формирует напряжение  $\pm 11,6$  В для ОУ, +5 В для генератора, +5 В и +2,5 В для контроллера,  $\pm 5$  В для АЦП.

Напряжение с элементов АКБ поступает на делитель, который уменьшает напряжение. Это необходимо для снижения синфазного напряжения со всей АКБ до допустимых значений для микросхем коммутатора и ОУ. Одновременно в делителе есть емкости, которые совместно с делителем образуют фильтр НЧ. Коммутатор построен на одной импортной микросхеме (два аналоговых мультиплексора 16x1). Управление коммутатором обеспечивает контроллер. Напряжение выбранного элемента АКБ поступает на операционный усилитель, кото-

рый приводит напряжение с делителя к рабочему напряжению АЦП ( $\pm 3$  В). АЦП преобразует напряжение в 14-разрядный цифровой код. Управляющие сигналы на АЦП поступают с контроллера. Данные поступают на контроллер последовательным интерфейсом. Контроллер обеспечивает управление коммутатором и АЦП, принимает данные от АЦП, производит смену знака у отрицательных значений на положительные, производит округление 14-разрядного кода до 8-разрядного, обеспечивает смещение показаний на 64 единицы, производит ограничение показаний до 255 при превышении напряжения на элементе АБ свыше 2387,5 мВ и ограничение показаний до 0 при напряжении элемента АБ менее минус 800 мВ, а также обеспечивает формирование выходных данных последовательным кодом универсальной измерительной магистрали. Контроллер выполнен на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС). Данные с контроллера поступают на универсальную измерительную магистраль по двум раздельным линиям через трансформатор. Одна линия предназначена для основного подключения, другая – для резервного. Готовые данные передаются по универсальной измерительной магистрали с последовательной передачей данных.

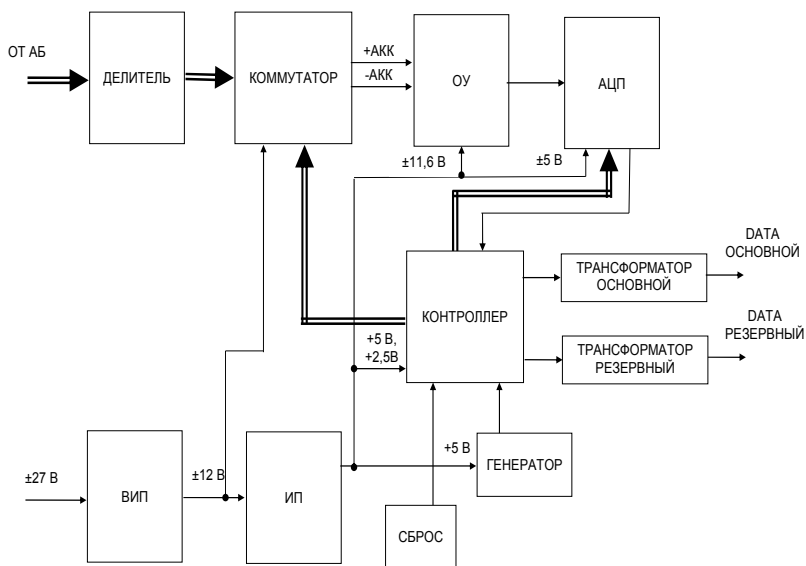


Рис. 1. Структурная схема системы

Универсально измерительная магистраль (УИМ) – интерфейс передачи данных основан на принципе работы гальванической развязки.

Гальваническая развязка [3] – схемотехническое решение, в основе которого лежит принцип передачи энергии или сигнала между электрическими цепями без электрического контакта между ними. Гальванические развязки используются для передачи сигналов, для бесконтактного управления и для защиты оборудования и людей от поражения электрическим током. Существует несколько видов гальванической развязки, в данном случае будет рассматриваться трансформаторная.

Без использования развязки предельный ток, протекающий между цепями, ограничен только электрическими сопротивлениями, которые обычно относительно малы. В результате возможно протекание выравнивающих токов и других токов, способных повреждать компоненты цепи или поражать людей, прикасающихся к оборудованию, имеющему электрический контакт с цепью. Прибор, обеспечивающий развязку, искусственно ограничивает передачу энергии из одной цепи в другую. В качестве такого прибора может использоваться трансформатор или оптрон. В обоих случаях цепи оказываются электрически разделенными, но между ними возможна передача энергии или сигналов.

Интерфейс УИМ с трансформаторной развязкой используется в диссертации А. В. Ворожцова «Разработка системы контроля напряжения АКБ с передачей информации по универсальной измерительной магистрали». Он служит для передачи данных между коммутаторами. Под коммутатором подразумевается измерительный прибор. В составе каждого прибора имеется ПЛИС. По четко заданному алгоритму ПЛИС формирует код, который последовательным путем передается через трансформаторную развязку в другой прибор.

Схема интерфейса УИМ между системой контроля напряжения аккумуляторных батарей и иным измерительным блоком представлена на рис. 2. Такой измерительный блок предназначен для дальнейшей обработки и применения информации.

В точках А и Б цепь «0 В» замкнута с экраном. Интерфейса УИМ устойчиво функционирует при длине линий связи 7 и 10 м. Определен фактический запас длины линий связи для интерфейса УИМ с трансформаторной развязкой не менее 20 м, для интерфейса УИМ с непосредственной связью 11,5 м. Информация должна передаваться последовательным цифровым кодом по ЛПИ. В качестве кода должен использоваться униполярный фазоманипулированный код. Скорость передачи информационных разрядов должна быть 250 Кбит/с.



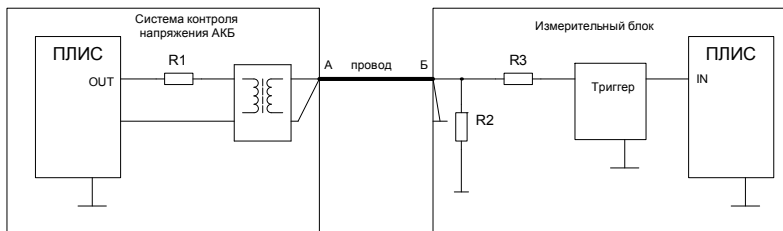


Рис. 2. Схема интерфейса УИМ

В настоящее время ведется разработка программного обеспечения для ПЛИС. Программное обеспечение для ПЛИС разрабатывается на языке проектирования VHDL. Программное обеспечение (или прошивка) необходима для работы ПЛИС, чтобы она могла управлять всей периферией системы контроля напряжения аккумуляторных батарей.

### Список литературы

1. Гук, М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. – СПб. : Питер, 2005. – 539 с.
2. Бортовые и наземные радиотехнические комплексы [Электронный ресурс] // Официальный сайт АО «Ижевский радиозавод» [Сайт]. – URL: <http://www.irz.ru/products/11/index.htm> (дата обращения 9.11.2015).
3. Гальваническая развязка [Электронный ресурс] // Википедия [Сайт]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гальваническая\\_развязка/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гальваническая_развязка/) (дата обращения: 9.11.2015).

## Development of system voltage control by information via universal measuring pipe

**Abstract.** *The system voltage control batteries designed to measure the telemetry parameters of batteries in space. The system is used on board spacecraft. The processed information is transmitted by non-electrical medium. This environment is universal measuring line.*

**Keywords:** system measuring pipe, battery, universal measuring pipe, measuring unit, space technology.

*В. А. Глушков*, канд. техн. наук, доц.  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова  
E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.com

## Обзор стандарта IEC 62391

*В статье дается обзорная информация по группе стандартов IEC 62391, регламентирующих вопросы проектирования и оценки качества электрохимических конденсаторов.*

**Ключевые слова:** электрохимический конденсатор, ионистор, суперконденсатор.

### Введение

В мире сегодня активно развивается такая область приборостроения, как проектирование и производство электрохимических конденсаторов (суперконденсаторов). При этом, как правило, каждая зарубежная фирма устанавливает собственные стандарты в отношении параметров и характеристик данных электронных компонентов. В России имеются производители суперконденсаторов, которым также приходится создавать стандарты предприятия из-за отсутствия отечественных регламентирующих документов в данной сфере (прежде всего, ГОСТ).

### Стандарты IEC 62391

В 2006 году Международная электротехническая комиссия (International Electrotechnical Commission – IEC) издала группу международных стандартов под общим номером IEC 62391. Официальной русскоязычной локализации данных стандартов нет, и они доступны только на языках оригинала – английском и французском.

IEC 62391 состоит из следующих частей, объединенных общим наименованием «Конденсаторы постоянной емкости с двойным электрическим слоем, используемые в электронном оборудовании»:

- Часть 1: Основные технические условия (IEC 62391-1).
- Часть 2: Групповые технические условия. Конденсаторы двухслойные для силового применения (IEC 62391-2).

Указанные выше групповые технические условия не являются техническими условиями на изделия конкретных типов, а представляют

из себя дополнительный документ, содержащий требования по стилю, структуре и минимальному составу частных технических условий.

### ***Стандарт IEC 62391-1***

Данный стандарт применяется к двуслойным конденсаторам постоянной емкости, используемым преимущественно в электронном оборудовании в цепях постоянного тока.

Документ устанавливает стандартные термины, порядок проверки и методы испытаний, применяемые в групповых и частных технических условиях на электронные компоненты для целей обеспечения качества либо иных целей.

Содержание стандарта IEC 62391-1:

1. Общие положения.
  - 1.1. Обзор предметной области.
  - 1.2. Нормативные ссылки.
2. Техническая информация.
  - 2.1. Единицы измерения и обозначения.
  - 2.2. Термины и определения.
  - 2.3. Номинальные значения.
  - 2.4. Маркировка.
3. Методы оценки качества.
  - 3.1. Общие положения.
  - 3.2. Начальная стадия производства.
  - 3.3. Конструктивно подобные компоненты.
  - 3.4. Декларация о соответствии требованиям.
  - 3.5. Программа испытаний и требования к начальной оценке.
4. Процедуры испытаний и измерений.
  - 4.1. Общие положения.
  - 4.2. Стандартные внешние условия.
  - 4.3. Сушка.
  - 4.4. Визуальный осмотр и проверка размеров.
  - 4.5. Емкость.
  - 4.6. Внутреннее сопротивление.
  - 4.7. Ток утечки.
  - 4.8. Саморазряд.
  - 4.9. Устойчивость крепления контактов к нагрузкам при монтаже / демонтаже и эксплуатации.
  - 4.10. Устойчивость к теплу от пайки.
  - 4.11. Пригодность к пайке.
  - 4.12. Быстрое изменение температуры.
  - 4.13. Вибрация.
  - 4.14. Нагрев во влажной среде, установившееся состояние.

- 4.15. Долговечность.
- 4.16. Хранение.
- 4.17. Характеристики при высоких и низких температурах.
- 4.18. Устойчивость компонента к растворителям.
- 4.19. Устойчивость маркировки к растворителям.
- 4.20. Пассивная воспламеняемость.
- 4.21. Сброс давления (при наличии).

Приложение А (нормативное). Классификация на основе емкости и внутреннего сопротивления.

Приложение В (информативное). Измерение емкости и низкого сопротивления методом низкочастотного переменного тока (ссылка).

Рисунок 1 – Электрическая схема к методу разряда постоянным током.

Рисунок 2 – Зависимости напряжения (характеристика) между контактами конденсатора.

Рисунок 3 – Электрическая схема к методу разряда через постоянное сопротивление.

Рисунок 4 – Электрическая схема к методу сопротивления переменному току.

Рисунок 5 – Зависимости напряжения (характеристика) между контактами конденсатора.

Рисунок 6 – Диаграмма испытаний на саморазряд.

Рисунок А.1 – Концептуальное представление по характеристикам в каждой классификации.

Рисунок А.2 – Система измерения емкости с помощью метода переменного тока низкой частоты.

Таблица 1 – Стандартное контрольное испытание: стандартные внешние условия.

Таблица 2 – Условия разряда.

Таблица 3 – Ток разряда.

Таблица 4 – Растягивающее усилие.

Таблица 5 – Крутящий момент.

Таблица 6 – Жесткие условия и требования.

Таблица А.1 – Параметры, измеряемые для оценки электрических характеристик.

### ***Стандарт IEC 62391-2***

Данный стандарт применяется к двуслойным конденсаторам постоянной емкости, используемым в электрических цепях большой мощности.

Мощные суперконденсаторы предназначены для электрических цепей, где предусмотрены их токи заряда / разряда от единиц милли-

ампер до десятков и сотен ампер. Особенности параметров таких суперконденсаторов – относительно высокая емкость и низкое внутреннее сопротивление.

Содержание стандарта ИЕС 62391-2:

1. Общие положения.
  - 1.1. Обзор предметной области.
  - 1.2. Назначение стандарта.
  - 1.3. Нормативные ссылки.
  - 1.4. Информация, которая будет дана детально.
  - 1.5. Терминология.
  - 1.6. Маркировка.
2. Номинальные значения параметров и номинальные характеристики.
  - 2.1. Номинальные характеристики.
  - 2.2. Номинальные значения параметров.
3. Методы оценки качества.
  - 3.1. Начальная стадия производства.
  - 3.2. Конструктивно подобные компоненты.
  - 3.3. Декларация о соответствии основным требованиям.
  - 3.4. Программа испытаний и требования к начальной оценке (обязательные испытания и испытания, проводимые по специальному соглашению).
  - 3.5. Оценка соответствия требованиям качества.
4. Процедуры испытаний и измерений.
  - 4.1. Предварительная сушка.
  - 4.2. Условия измерений.
  - 4.3. Визуальный осмотр и проверка размеров.
  - 4.4. Электрические испытания.
  - 4.5. Устойчивость крепления контактов к нагрузкам при монтаже / демонтаже и эксплуатации.
  - 4.6. Устойчивость к теплу от пайки.
  - 4.7. Пригодность к пайке.
  - 4.8. Быстрое изменение температуры.
  - 4.9. Вибрация.
  - 4.10. Долговечность.
  - 4.11. Саморазряд.
  - 4.12. Хранение при высокой температуре.
  - 4.13. Характеристики при высоких и низких температурах.
  - 4.14. Нагрев во влажной среде, установившееся состояние.
  - 4.15. Пассивная воспламеняемость (если актуально).
  - 4.16. Сброс давления (при наличии).

Приложение А (информативное). Методика расчета плотности энергии.

Рисунок А.1 – Зависимости напряжения (характеристика) между контактами конденсатора.

Таблица 1 – План тестирования фиксированных размеров образца для подтверждения соответствия техническим условиям.

Таблица 2 – Программа испытаний для подтверждения соответствия техническим условиям.

Таблица 3а – Контроль каждой партии.

Таблица 4б – Периодические испытания.

В стандартах также имеются ссылки на другие стандарты ИЕС, QC и ISO, регламентирующих общие требования к терминам, буквенным и графическим символам, номинальным рядам, методикам испытаний и измерений параметров и характеристик, единицам измерения, технологиям монтажа, порядке проведения мероприятий по оценке и подтверждению качества.

### **Заключение**

Стандарты ИЕС 62391 регламентируют вопросы проектирования и оценки качества суперконденсаторов, но делают это с оговоркой – в рекомендательном плане. В преамбуле к каждому стандарту указывается, что документы, издаваемые ИЕС, имеют характер рекомендаций для международного использования и применяются как таковые Национальными Комиссиями ИЕС. ИЕС не несет ответственности за то, каким образом данные документы будут использованы или интерпретированы кем бы то ни было.

### **Список литературы**

1. IEC 62391-1. Fixed electric double-layer capacitors for use in electronic equipment – Part 1: Generic specification. – Geneva: IEC, 2006. – 34 p.
2. IEC 62391-2. Fixed electric double-layer capacitors for use in electronic equipment – Part 2: Sectional specification – Electric double layer capacitors for power application. – Geneva: IEC, 2006. – 23 p.

## **IEC 62391 standard overview**

**Abstract.** *The article is a review of IEC 62391 standards on fixed double-layer capacitors, their design and quality assessment.*

**Keywords:** double-layer capacitor, electrochemical capacitor, supercapacitor.

В. А. Глушков, канд. техн. наук, доц.  
E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.com

В. Г. Гравшин, студент

Л. О. Долгачева, студентка

Р. Р. Ахметгалиев, студент

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Устройство считывания flash-накопителя как полезная нагрузка для спутника CubeSat**

*Дано описание модуля полезной исследовательской нагрузки для проектируемого спутника ИжГТУ имени М. Т. Калашникова формата CubeSat. В качестве полезной нагрузки рассматривается модуль тестирования flash-памяти.*

**Ключевые слова:** микроспутник, полезная нагрузка, модуль памяти.

В настоящее время в университетах страны идет активная работа по разработке и созданию научно-образовательных микроспутников. ИжГТУ имени М. Т. Калашникова не стал исключением. На кафедре «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры» приборостроительного факультета началась интенсивная разработка такого аппарата. В данной статье рассмотрим разработку устройства, выполняющего роль полезной нагрузки микроспутника.

Назначение проектируемого модуля полезной нагрузки заключается в исследовании влияния космического излучения на сохранность информации в микросхеме flash-памяти. На запоминающее устройство будет записана информация, которая через определенные промежутки времени будет считываться рассматриваемым в данной статье устройством. Под действием космического излучения составляющие ячейки микросхемы памяти начнут выходить из строя, в результате чего произойдет потеря информации. Через равные промежутки времени информация с микросхемы памяти будет отсылаться на Землю для сравнения ее с оригиналом.

На рис. 1 представлена структурная схема разрабатываемого устройства.

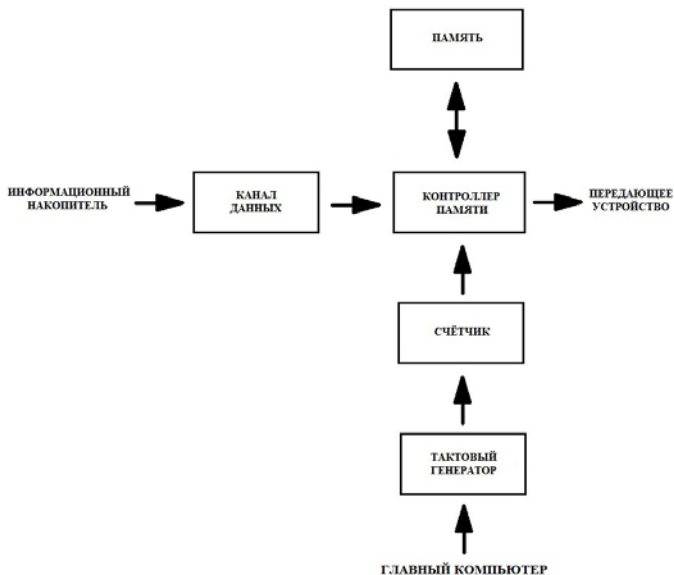


Рис. 1. Структурная схема устройства

Устройство работает следующим образом. Чтение информации с flash-накопителя происходит посредством USB-интерфейса. Начало процесса периодического считывания данной информации инициирует разрешающий сигнал с бортового компьютера, запускающий работу тактового генератора исследовательского модуля. Генератор начинает вырабатывать прямоугольные импульсы заданной частоты и подает их на тактовый вход счетчика, модуль счета которого соответствует необходимой периодичности считывания информации с микросхемы памяти. Через каждый такой интервал времени счетчик формирует управляющий сигнал, поступающий на контроллер памяти, который формирует пакет запроса ввода/вывода данных. Информация с микросхемы памяти передается при помощи дифференциального сигнала между проводами D+ и D- USB-разъема. Преобразование сигнала происходит по методу NRZI-кодирования (при передаче 0 он передает потенциал, который был установлен на предыдущем такте, т. е. не меняет его, а при передаче единицы сигнал инвертируется на противоположный). Каждый следующий пакет данных запрашивается и принимается контроллером при получении сигнала со счетчика. Контроллер в последовательном виде записывает полученные данные в ячейки



памяти типа NAND (И-НЕ). При получении команды на запись контроллер находит нужный блок памяти и свободную ячейку, в которую записывает либо 1, либо 0. Ячейка представляет собой транзистор, имеющий управляющий и плавающий затворы. Для записи 1 подается положительное напряжение на управляющий затвор. Для считывания информации из памяти также подается напряжение на управляющий затвор, и если ток не будет проходить через транзистор, то в ячейке записана 1, в противном случае – 0. После записи информации с флэш-накопителя с главного компьютера приходит сигнал, по которому контроллер из ячеек памяти в последовательном виде начинает отправлять информацию на передающее устройство. Пакеты данных будут передаваться при получении сигнала со счетчика. По окончании передачи сигнал с главного компьютера выключает тактовый генератор и сбрасывает счетчик.

### **Вывод**

На данном этапе нашей работы мы структурно изобразили устройство и описали принцип его действия. Следующим этапом разработки является детальное рассмотрение составляющих элементов и формирование принципиальной схемы устройства.

### **Список литературы**

1. Интерфейс USB. Часть 2. Как происходит передача данных по шине [Электронный ресурс] // radiohlam.ru [Сайт]. – URL: <http://radiohlam.ru/teory/usb2.htm> (дата обращения: 24.11.2015).
2. Тактовый генератор, в особенности для usb-приборов: пат. 2242042 Рос. Федерация. № 2003107929/09; заявл. 21.08.01; опубл. 10.12.04, Бюл. № 34.
3. Устройство флешки и карты памяти [Электронный ресурс] // Олимп-Сервис [Сайт]. – URL: <http://olimp-service.ru/2015/06/17/flash-inside/#prettyPhoto> (дата обращения: 16.11.2015).

## **Flash storage device reader as a CubeSat satellite payload**

**Abstract.** *The article describes the research payload for the Kalashnikov ISTU CubeSat satellite. The payload is intended to be a flash-memory test device.*

**Keywords:** microsatellite, payload, flash drive, memory.

*В. А. Глушков*, канд. техн. наук, доц.

*С. В. Клишин*, канд. физ.-мат. наук, доц.

*О. Я. Шамсияхметов*, ведущий инженер-электроник

E-mail: GL@idz.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Особенности расчета показателей надежности РЭА

*При составлении технического задания на проектирование аппаратуры часто используется термин «гарантийный срок эксплуатации», который как показатель надежности не определен. Была предложена обобщенная формула расчета оптимального гарантийного срока с учетом этапа приработки изготавливаемых изделий.*

**Ключевые слова:** надежность, интенсивность отказов, гарантийный срок, технологическая приработка.

Перед заказчиками радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) (бытовой или специализированной) часто возникают следующие вопросы:

1. Существует расширенный сервис гарантийного срока эксплуатации РЭА. Можно увеличить гарантию на прибор в несколько раз, уплачивая некоторую денежную сумму пропорционально стоимости изделия. Стоит ли это делать?

2. Имеется выбор абсолютно идентичных по характеристикам устройств, кроме гарантийного срока. При этом практически никаких гарантий, но цена минимальна или высокая цена с повышенной гарантией. Что выбрать?

3. Несмотря на заявление изготовителя РЭА безотказности прибора в определенном временном интервале, очень часто возникают отказы именно в гарантию. При этом данное событие возникает не у всех. Об одном и том же приборе есть мнения как об устройстве, которое никогда не ломается, и тут же есть рекламации по поводу постоянных отказов данной аппаратуры. Кому верить?

4. Возможно ли без пояснений при составлении технического задания включить в раздел конструктивно-технологических требований пункт «Работа аппарата осуществляется в заданный период времени без отказов»?

В условиях жесткой мировой конкуренции производителям РЭА необходимо обеспечить высокую надежность аппаратуры при минимуме собственных затрат.

Под надежностью (ГОСТ 53480–2009) будем понимать способность технических устройств безотказно работать в течение определенного временного интервала в заданных условиях.

Надежность является комплексным свойством, включающим в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Создадим упрощенную модель надежности радиоустройства из следующих соображений.

Для простоты рассмотрим категорию невосстанавливаемой аппаратуры. При сложившейся практике эксплуатации большинство РЭА подлежит восстановлению. Однако существует большая доля электронных изделий, которая в силу ряда причин не подлежит восстановлению, например военная техника (управляемые снаряды и ракеты), космическая техника (спутники и орбитальные станции), компьютерная техника (накопители данных магнитные типа «жесткие диски» и флэш-память), бытовая электроника низкой ценовой категории (ремонт которой соизмерим с покупкой новой техники).

Поэтому наиважнейшими будут показатели безотказности (свойства объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени):

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  – это вероятность того, что за определенное время работы устройства и в заданных условиях эксплуатации отказа не происходит. Вероятность меняется в пределах от 0 до 1:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1)$$

где  $N_0$  – количество изделий в начале испытаний;  $n(t)$  – количество отказавших изделий за время  $t$ .

Вероятность отказа – это вероятность того, что за определенное время работы устройства и в заданных условиях эксплуатации произойдет отказ устройства:

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (2)$$

Вероятность отказа меняется в пределах от 0 до 1.

Частота отказов представляет собой скорость падения надежности невосстанавливаемых элементов:

$$f(t) = \frac{n(t)}{N_0 \cdot \Delta t}. \quad (3)$$

Частота отказов  $f(t)$  меняется в пределах от 0 до 1 при условии  $\Delta t = 1$ .

Интенсивность отказов – это отношение числа отказавших изделий в единицу времени к числу изделий, исправно работающих к началу данного отрезка времени:

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (4)$$

где  $n(\Delta t)$  – число отказавших изделий в интервале времени ( $\Delta t$ );  $N$  – число исправно работающих изделий в начале интервала  $\Delta t$ .

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  меняется в пределах от 0 до 1 при условии  $\Delta t = 1$  и  $P(t) = 1$ .

Средней наработкой до первого отказа  $T_{cp}$  называется математическое ожидание времени работы изделия до отказа:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (5)$$

где  $t_i$  – время безотказной работы  $i$ -го образца;  $N$  – число испытываемых образцов.

Как можно уменьшить риск покупки ненадежной техники? Необходимо следующее:

1. Чем больше партия изделий, тем меньше риски. Поэтому надо покупать у проверенных фирм, продающих приборы большими партиями.

2. Увеличить количество опрошенных владельцев данной техники по вопросу претензий к качеству товара. Опрос ограничивается только по времени проведения и возможности обеспечения связи с потребителем.

Средняя наработка до первого отказа или среднее время безотказной работы  $T_{cp}$  определяется во временных единицах (обычно в часах).

Средняя наработка до первого отказа связана с интенсивностью отказов соотношением:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}. \quad (6)$$

Отказы радиоэлектронных устройств неизбежны. Данный факт подтверждается формулой вероятности безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\lambda(t)t} = e^{-\frac{t}{T_{cp}}} = 0 \text{ при } t \rightarrow +\infty. \quad (7)$$

Следовательно, любой объект со временем откажет.

Отказ устройства обязательно произойдет – это объективная реальность. Однако с учетом вероятностного характера отказа данное событие произойдет за длительный промежуток времени, возможно, и не сейчас. Если подготовиться к этому событию (иметь определенные комплектующие на замену, обученный персонал), то оно пройдет менее болезненно для потребителя, использующего данную аппаратуру. При этом надежность некоторых изделий, например компьютерных комплектующих, так велика, что в период эксплуатации отказа может и не случиться.

С отказами можно бороться 2 методами:

1. Выполнить резервирование, то есть дублирование самых ненадежных элементов устройств. Это дорогостоящий вариант. Применяется только для техники ответственного исполнения (военная, космическая, медицинская, охранная).

2. Выполнить текущий ремонт всех бракованных агрегатов.

Это популярный вариант. Осуществляется он методом страховки – раскидыванием стоимости ремонта брака на все изделия в партии.

Покупатель платит обязательную небольшую сумму, включенную в цену устройства за будущий возможный ремонт, иначе он будет осуществлять ремонт за полную стоимость самостоятельно.

Рассмотрим пример.

Пусть интенсивность отказов равна  $\lambda(t) = 10^{-6} \text{ час}^{-1}$ .

Тогда, задавая значение  $t = T_{cp}$ , можно вычислить вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\lambda(t)t} = e^{-\frac{t}{T_{cp}}} = 2,71 \frac{10^6}{10^6} = 2,71^{-1} = 0,369. \quad (8)$$

Это значит, что на момент времени  $T_{cp}$  сохранится в рабочем состоянии 36,9 % от общего объема аппаратуры, 63,1 % будет браком, требующим ремонта или замены на аналогичную технику. Отсюда следует, что за среднее время безотказной работы больше половины техники отказало. Бракованных изделий не будет совсем на момент времени  $t = 0$  (на начало эксплуатации).

Следовательно:

1. Время  $T_{cp}$  предназначается для потребителя, а гарантия выполнения показателя ложится на производителя.

2. Изготовитель обязан исправить все дефекты за свой счет и вернуть работоспособность сломанной аппаратуре за определенный срок ремонтных работ.

Необходимо создать запасные устройства или комплектующие на замену в количестве, определенном показателем надежности (63,1 % от полного объема выпуска изделий).

За показателями надежности всегда стоит коммерческий интерес производителя. В данном случае имеется соблазн уменьшить затраты на производство и поддержание техники в надлежащем качестве, сократив время безотказной работы. Разница в сэкономленных средствах может пойти на уменьшении конечной цены изделий. То есть производитель устанавливает срок гарантийной эксплуатации прибора  $T_{Г}$ .

У изготовителя есть выбор – гарантировать качество и надежность формулой  $T_{Г} = T_{ср}$  или уменьшить  $T_{Г}$  до минимума (в пределе до 0).

Заниженные гарантийные сроки присущи аппаратуре азиатского региона планеты. За счет этого сохраняются низкие цены. Однако отказы могут появиться в первые часы эксплуатации и потребителю необходимо дополнительно находить средства на ремонт. При  $T_{Г} = T_{ср}$  все расходы учтены в цене продажи товара, при этом каждый покупатель платит за ремонт (может быть свой, а может быть ремонт другого покупателя).

Налицо обычная система страхования, при этом, чем больше объемы выпуска товара, тем дешевле страховка, то есть наценка на готовое изделие. Если еще учесть, что не все изделия (в нашем примере 63,1 %) выйдут из строя, то наценка еще снизится. Если изделия будут восстанавливаться, то предстоит замена не всех деталей устройства, а только отдельных вышедших из строя, что также снижает наценку.

Отсюда гарантийный срок желателен как можно больше для потребителя. Ограничивает в пределе только цена изделия с гарантией (цена может быть слишком большой для потребителя).

Значит ли это, что можно давать гарантию больше времени  $T_{ср}$ , стремясь в пределе к  $T_{Г} = T_{р}$  (средний ресурс), чтобы обогнать конкурентов и получить больше потенциальных покупателей.

Обратимся к функции интенсивности отказов  $\lambda(t)$ .

Опыт эксплуатации, статистика отказов, а также исследования показывают, что вид функции  $\lambda(t)$ , как теоретической, так и статистической, имеет три временных интервала (см. рис. 1):

I. От 0 до  $t_1$ , участок приработки, на котором  $\lambda(t)/dt < 0$ , т. е.  $\lambda(t)$  – убывающая функция.

II. От  $t_1$  до  $t_2$ , участок нормальной работы, на котором  $\lambda(t)/dt = 0$ , т. е.  $\lambda(t) = \text{const}$ .

III. От  $t_2$  до  $t_3$ , участок износа (старения), на котором  $\lambda(t)/dt > 0$ , т. е.  $\lambda(t)$  – возрастающая функция.

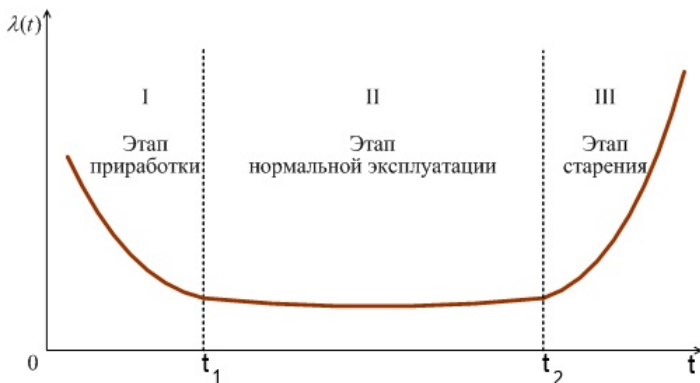


Рис. 1. График функции  $\lambda(t)$

При этом на участке от 0 до  $t_1$  характер изменения кривой объясняется наличием большого числа внезапных отказов изделия в первый период эксплуатации из-за элементов, имеющих скрытые внутренние дефекты. Продолжительность этого участка от сотен часов до 1 года.

На участке от  $t_1$  до  $t_2$  проявляются, в основном, внезапные отказы, а износ и старение выражены слабо. Продолжительность этого периода наибольшая (обычно от 1 года до 10 лет).

На участке от  $t_2$  до  $t_3$  интенсивность отказов характеризуется резким повышением за счет постепенных отказов, вызванных старением аппаратуры. Границей будет являться ресурс изделия – время, когда изделие будет в предельном состоянии.

Очевидно, что самым привлекательным будет время, где интенсивность отказов минимальна. Это временной интервал от  $t_1$  до  $t_2$ , где время  $t_2 = T_{\text{ср}}$ , а  $t_1 = T_{\text{пр}}$  ( $T_{\text{пр}}$  – время приработки).

Время приработки  $T_{\text{пр}}$  требует повышенных материальных и людских ресурсов. А так как оно кратковременно, то некоторые предприятия, минимизируя затраты на ремонт и замену брака, самостоятельно вводят в эксплуатацию изделия на производственных мощностях предприятия. При этом делаются периодические замеры интенсивности отказов с целью определить стабилизацию интенсивности на минимальном уровне. Когда это случается, этап приработки заканчивают.

Было замечено в ходе замеров, что техника за более короткий срок подходит к точке начала стабилизации  $\lambda$  за счет эксплуатации в жест-

ком режиме, когда все регулировки в приборе имеют максимальное положение по сравнению с номинальным режимом. Поэтому техника непрерывно, интенсивно эксплуатируется в период приработки с целью уменьшения данного этапа.

Некоторые предприятия не могут обеспечить полную приработку в силу возросших материальных затрат на проведение этого этапа. Поэтому используют лишь часть приработки или полностью ее включают в гарантийный срок эксплуатации  $T_{\Gamma} = T_{\text{пр}}$ .

Частичная приработка называется технологическим прогоном – непродолжительная работа в условиях, близких к эксплуатационным, с целью обнаружения и устранения скрытых дефектов (ГОСТ 23502–79).

Существует методика выбора оптимального времени прогона по ГОСТ 23502–79, которая выполняется по следующей схеме:

1. По начальным статистическим данным эксплуатации подбирается аппроксимирующая функция вида

$$f(t) = b_1 \cdot e^{-a \cdot t} + b_0. \quad (9)$$

Зависимость здесь экспоненциальная в предположении, что мы имеем дело на этапе прогона с суперпозицией двух экспоненциальных законов (для обычных деталей и деталей со скрытыми дефектами).

2. Подбираются весовые коэффициенты  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $a$  по формулам ГОСТа.

3. Вычисляют продолжительность оптимального прогона по формуле

$$T_{\text{пр}} = \frac{1}{a} \ln \left( \frac{b_1 \cdot (C_{\text{гр}} - C_2 - C_4)}{C_1 + C_3 + b_0 \cdot (C_2 + C_4)} \right), \quad (10)$$

где  $C_{\text{гр}}$  – затраты на устранение отказа одного изделия, руб.;  $C_1$  – заработная плата персонала по обслуживанию одного изделия в час, руб.;  $C_2$  – расходы на зарплату персонала по ремонту на одно изделие, руб.;  $C_3$  – расходы на энергию на одно изделие, руб.;  $C_4$  – стоимость комплектующих для ремонта одного изделия, руб.

В современных условиях производства необходимо определить оптимальный гарантийный срок  $T_{\Gamma, \text{опт}}$ .

Часто решение этой задачи требуется на этапе составления технического задания. При этом необходимо оценить в первом приближении поставленные требования в задании, которые часто бывают необоснованно завышены.

Критерием оценки оптимальности положим получение максимальной прибыли предприятием-изготовителем.



Прибыль – это сумма всех цен проданных единиц РЭА за минусом себестоимости изделий и затрат на ремонт и восстановление брака:

$$\Pi_{\text{пр.макс}} = N_0 \cdot (P(T_{\Gamma}) \cdot (C_{\text{РЭА}} - C_{\text{РЭА}}) - Q(T_{\Gamma}) \cdot Z_{\text{рем}}) \geq \Pi_{\text{пр.рент}}, \quad (11)$$

где  $\Pi_{\text{пр.макс}}$  – максимальная прибыль предприятия, руб.;  $N_0$  – начальный размер партии изделий, шт.;  $C_{\text{РЭА}}$  – цена РЭА, установленная заводом изготовителем, руб.;  $C_{\text{РЭА}}$  – себестоимость одного устройства, руб.;  $Q(T_{\Gamma}) = 1 - P(T_{\Gamma})$  – доля бракованных изделий за время  $T_{\Gamma}$ ;  $Z_{\text{рем}}$  – затраты на ремонт и восстановление на единицу РЭА, руб.;  $\Pi_{\text{пр.рент}}$  – минимальная прибыль предприятия, соответствующая уровню рентабельности, руб.;  $P(T_{\Gamma})$  – доля рабочих изделий за время  $T_{\Gamma}$  определяется соотношением:

$$P(T_{\Gamma}) = A \cdot e^{-\lambda(t) \cdot T_{\Gamma}} = e^{-T_{\Gamma}/T_{\text{ср}}}, \quad (12)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий понижение вероятности безотказной работы при наличии участка приработки или прогона по сравнению с идеальным случаем, когда этот участок отсутствует ( $A = 1$ ). Коэффициент равен вероятности безотказной работы:

$$P(t) = \frac{n(t)}{N}, \quad (13)$$

где  $n(t)$  – количество отказов изделий;  $N$  – размер начальной партии изделий) в момент окончания приработки или прогона ( $A < 1$ ).

По исходным данным можно построить график функции  $\Pi = f(T_{\Gamma})$  (рис. 2).

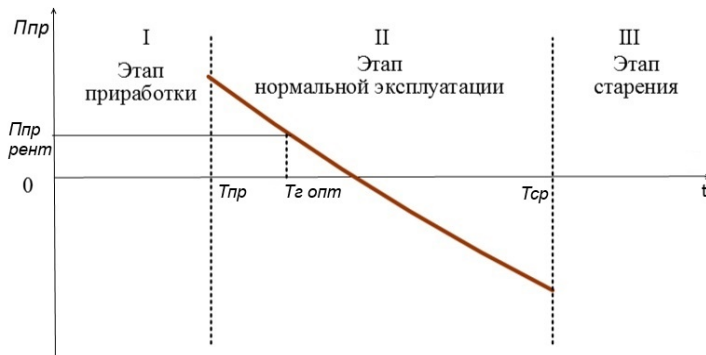


Рис. 2. Определение оптимального гарантийного срока

Проанализируем полученный график функции:

1. Поправочный коэффициент  $A$ , учитывающий этап прогона, сдвигает прямую вниз по оси  $\Pi_{\text{пр}}$ . В итоге получаем парадоксальный вывод – с вводом прогона оптимальный гарантийный срок значительно уменьшается вместо планированного увеличения. Объясняется это просто – мы не учитываем бракованные изделия на этапе прогона. В действительности ценность этапа прогона заключается в оперативной замене брака на исправные изделия, которые прошли до этого данный этап благополучно (коэффициент  $A \rightarrow 1$ ).

2. Можно увеличить время гарантии, выполняя следующее:

- а) максимально повышать количество изделий в партии;
- б) уменьшать себестоимость единицы продукции;
- в) уменьшать издержки на ремонт;
- г) использовать технологический прогон изделий перед продажей.

Полученная формула дает лишь грубый оценочный результат. Более точно можно подсчитать  $T_{\text{гопт}}$ , учитывая зависимость всех коэффициентов от объективных (время старение) и субъективных (экономических (себестоимость, накладные расходы, инфляция) и правовых (законодательно установленные обязательные гарантийные сроки, защищающие интересы потребителей)) факторов.

### Список литературы

1. *Чеканов, А. Н.* Расчеты и обеспечение надежности электронной аппаратуры. – М. : Изд-во Кнорус, 2014. – 438 с.
2. ГОСТ 53480–2009. Надежность в технике. Термины и определение. – М. : Стандартинформ, 2010. – 27 с.
3. *Шор, Я. Б.* Статистические методы анализа и контроля качества и надежности: учебник для вузов. – М. : Госэнергоиздат, 1962. – 552 с.
4. *Басманов, В. Г.* Математическая модель надежности элементов электропитания в период приработки / В. Г. Басманов, А. А. Закалята, В. М. Холманских // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5. – С. 247–251.
5. *Прокопьев, А. М.* Показатели надежности и инженерная практика / А. М. Прокопьев, П. В. Полянский // Надежность и безопасность в энергетике. – 2011. – № 5. – С. 1–13.
6. ГОСТ 23502–79. Обеспечение надежности на этапе производства. Технологический прогон изделий бытового назначения. – М.: Госстандарт, 1979. – 26 с.
7. ГОСТ 22352-77. Установление и исчисление гарантийных сроков в стандартах и технических условиях. – М. : Госстандарт, 1977. – 8 с.
8. *Кузнецов, В. А.* Основные вопросы надежности радиоэлектронной аппаратуры. – М. : Энергия, 1965. – 255 с.

## **Radioelectronic equipment reliability calculation aspects**

**Abstract.** *Electronic equipment Technical design assignments often use such term as “product warranty period” whereas it has not been officially specified as a reliability measure. In this article, we propose a generalized formula to calculate the optimum warranty period with due account for the early-failure period of the manufactured products.*

**Keywords:** reliability, failure rate, warranty period, early-failure period.

## Модернизация электронных часов

*Статья содержит анализ работы схемы часов, варианты изменения схемы под иную материально-техническую базу и дополнительные функции часов.*

**Ключевые слова:** часы, модернизация, навеска, импульсная техника, счетчики, интегральная микросхема, серия 176.

### Введение

Электронные часы, помимо очевидной практической пользы, имеют образовательную ценность. Схема электронных часов совмещает в себе большое количество составных частей, которые студенты изучали ранее отдельно. Большое количество связей между частями позволяет экспериментировать над схемой и добавлять свои схемотехнические решения. Наглядный результат работы схемы (значение текущего времени на дисплее) и практическая польза схемы дополнительно мотивируют студента изготавливать часы и вносить свои дополнения в схему.

### Описание работы по схеме электрической структурной

Электрическая структурная схема часов представлена на рис. 1 [1].

Генератор импульсов вырабатывает прямоугольные импульсы с частотой  $2^{15}$  Гц = 32768 Гц, скважностью 2, с амплитудой, равной напряжению питания. Построен по схеме Пирса.

Делитель частоты 1 делит частоту подаваемых на вход импульсов. На выходе импульсы с частотами  $2^0$  Гц = 1 Гц (для подачи на делитель частоты 2 и для мигающего двоеточия на индикаторе),  $2^1$  Гц = 2 Гц (для установки часов и минут),  $2^{10}$  Гц = 1024 Гц (тактовая частота для установки часов и минут, для управления мультиплексором), четыре линии  $2^7$  Гц = 128 Гц скважностью 4 (для установки часов и минут, для динамической индикации разрядов).

Делитель частоты 2 делит частоту входных импульсов на 60. При подаче импульсов частотой 1 Гц частота выходных импульсов 1/60 Гц. Необходим для подачи на счетчик единиц минут.

Делитель частоты 3 нужен для управления мультиплексором.

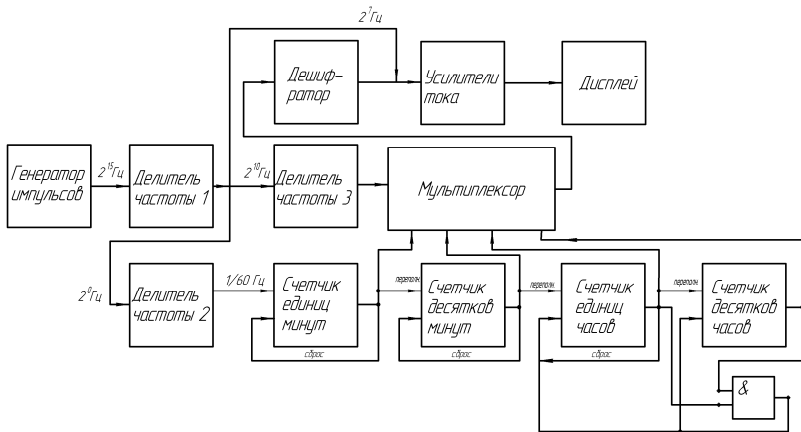


Рис. 1. Схема электрическая структурная

Счетчик единиц минут – четырехразрядный двоичный счетчик единиц минут. При подаче на вход установки импульса к выходному коду прибавляется  $0001_2$ . При комбинации выходного кода  $1010_2 = 10_{10}$  счетчик принудительно сбрасывается и подается импульс на вход установки счетчика десятков минут.

Счетчик десятков минут – трехразрядный двоичный счетчик десятков минут. При подаче на вход установки импульса к выходному коду прибавляется  $001_2$ . При комбинации выходного кода  $110_2 = 6_{10}$  счетчик принудительно сбрасывается и подается импульс на вход установки счетчик единиц часов для того, чтобы часы после времени 00:59 показали 01:00, а не 00:60.

Счетчик единиц часов – четырехразрядный двоичный счетчик единиц часов. При подаче на вход установки импульса к выходному коду прибавляется  $0001_2$ . При комбинации выходного кода  $1010_2 = 10_{10}$  счетчик принудительно сбрасывается и подается импульс на вход установки счетчика десятков часов.

Счетчик десятков часов – двухразрядный двоичный счетчик десятков минут. При подаче на вход установки импульса к выходному коду прибавляется  $01_2$ . При сочетании комбинаций  $10_2 = 2_{10}$  и  $0100_2 = 4_{10}$  на счетчиках единиц часов и десятков часов эти счетчики сбрасываются для того, чтобы после 23:59 часы показывали время 00:00, а не 24:00.

Мультиплексор. На выходе повторяет значение одной из групп входов при определенных комбинациях на входах управления. Необходим для того, чтобы код на счетчиках часов и минут отображался не

одновременно, а по очереди. Код управления приходит делителя частоты 3 [1].

Дешифратор. Преобразует входной четырехразрядный двоичный код в семисегментный.

Усилители тока необходимы для яркого свечения дисплея.

Дисплей. Работает в режиме динамической индикации.

### Описание схемы электрической принципиальной

На рис. 2 представлена схема электрическая принципиальная часов [2].

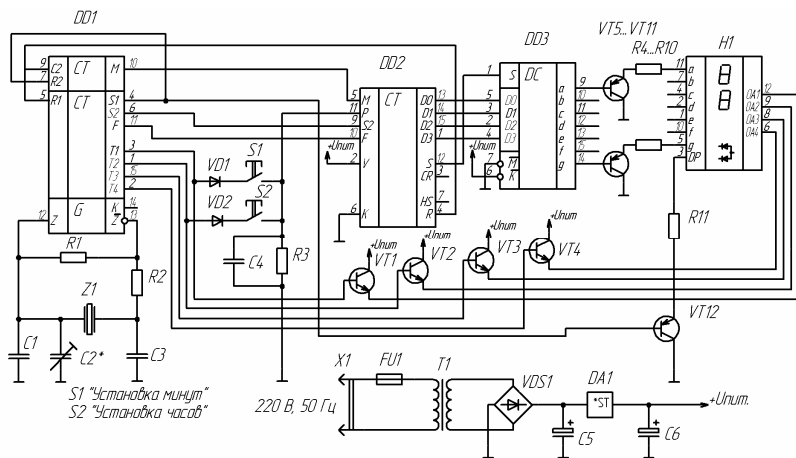


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная

C1, C2, C3, R1, R2, Z1 – входят в состав генератора импульсов по схеме Пирса. Необходимы для генерации тактовой частоты 32768 Гц [3].

C4, R3 – помехогасящая цепь, предотвращает дребезг состояний «0» и «1» на входе P микросхемы DD2.

C5, C6, DA1, FU1, T1, VDS1, X1 – блок питания часов 6 В.

DD1 – интегральная микросхема «К176ИЕ12».

Содержит в себе автогенератор прямоугольных импульсов, делитель частоты (временная диаграмма показана на рис. 4 [3]). Серия ИМС № 176, 561, 564 построена по КМОП-технологии (на полевых транзисторах, т. е. с высокими входными и выходными сопротивлениями), что обеспечивает маленькое потребление от источника питания, маленькие входные и выходные токи, нетребовательность к напряжению питания, но не позволяет строить высокочастотные устройства.

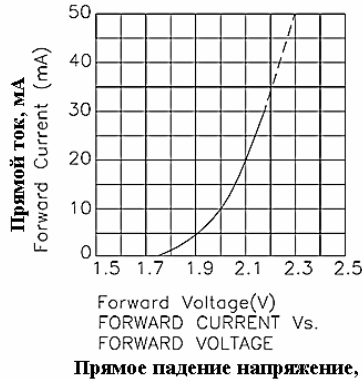


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика одного из сегментов индикатора «CA56-21YWA»

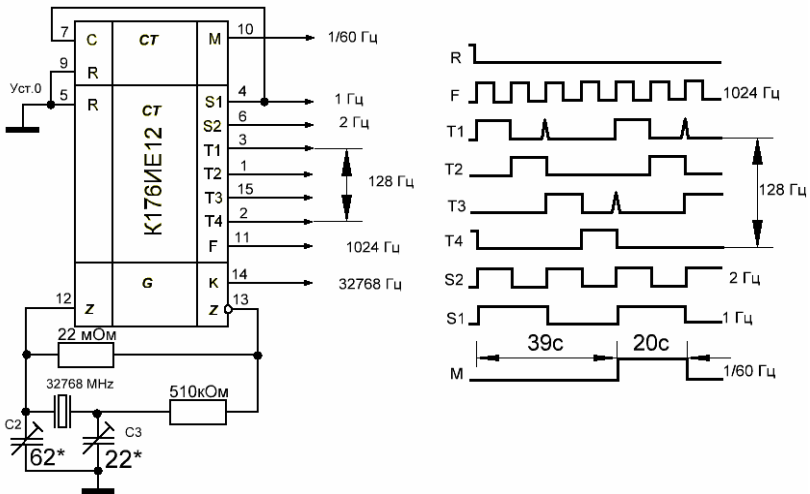


Рис. 4. Типовая схема включения и временная диаграмма выходов ИМС «K176IE12»

DD2 – ИМС «K176IE13». Счетчик, предназначенный для построения часов с будильником. Содержит в себе двоичные счетчики часов и минут, регистр будильника (в схеме не применяется), мультиплексор для вывода значений счетчиков часов и минут по очереди [1].

DD3 – ИМС «K176ИД2». Дешифратор четырехразрядного двоичного кода в семисегментный.

H1 – четырехразрядный семисегментный светодиодный индикатор с общими анодами «CA56-21 YWA». Имеет возможность подсветки двоеточия посередине. Максимальный прямой импульсный ток 140 мА. ВАХ одного из сегментов на рис. 3.

R4...R11 – токоограничительные резисторы, необходимы чтобы при открытых транзисторах не произошло перегорание светодиодного сегмента индикатора H1.

S1, S2 – кнопки без фиксации, нормально разомкнутая. S1: установка минут, S2: установка часов

VD1, VD2 – необходимы для того, чтобы выходы T1 и T2 DD1 не оказывали влияния друг на друга.

VT1...VT4, VT5...VT11 – усилители тока.

## Модификация

### Резервное питание

Даже при кратковременном отключении сетевого напряжения показания часов сбрасываются. Для обеспечения бесперебойной работы часов мною были внесены изменения в схему в виде дополнительного резервного питания рис. 5.

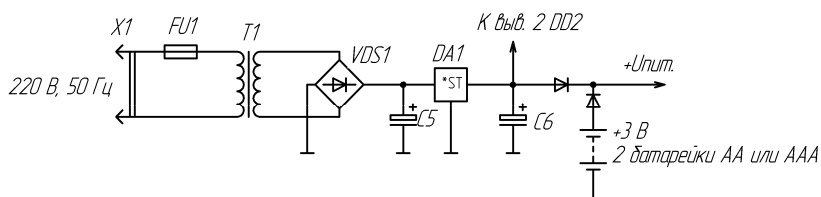


Рис. 5. Схема резервного питания

Требование к работе: напряжение после стабилизатора должно быть выше напряжения батареек. При работе от сети батарейки не разряжаются. При отключении от сети гаснет дисплей, время не сбивается. При подключении к сети вновь дисплей включается, при этом время настраивать не придется, батарейки разряжаться не будут.

### Переделка схемы под индикатор с общими катодами

При отсутствии семисегментного индикатора с общими анодами или микросхемы К176ИД2 необходимо переделать схему по рис. 6.

При напряжении питания больше 8 В необходимо ставить резисторы между базами VT1...VT4 и DD1.



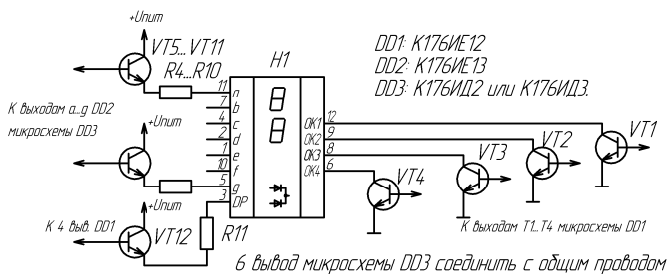


Рис. 6. Подключение индикатора с общими катодами

### Будильник

Микросхема K176ИЕ13 имеет регистр памяти для каждого разряда, и при совпадении числа в регистре с текущим временем (при помощи функции И) на выходе HS (7) появляется «1», позволяющая удерживать внешние генераторы низкой частоты во включенном состоянии на протяжении минуты. В качестве генератора могут быть применены любые автогенераторы звуковых частот. Подключение указано на рис. 7 [2].

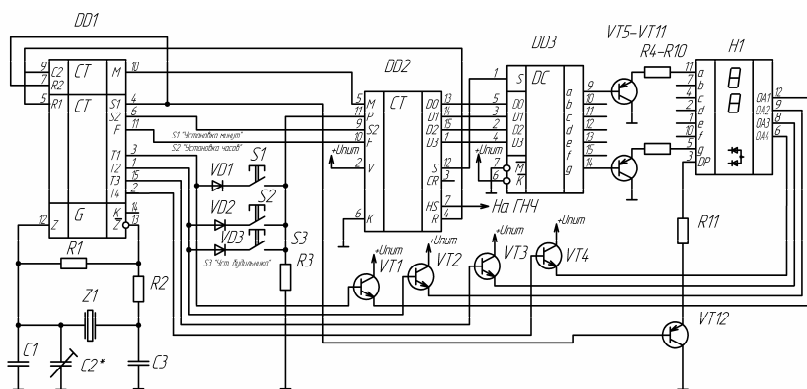


Рис. 7. Фрагмент схемы часов с будильником

Время на будильнике устанавливается следующим образом. Добавлен диод VD3 и кнопка S3. При нажатой кнопке S3 дисплей показывает время запуска будильника, а нажимание кнопок S1 и S2 (также при нажатой S3) позволяет программировать будильник.

При подключении автогенератора по рис. 8 или 9 импульс на выходе HS длительностью одну минуту, с помощью формирователя на ло-

гике (2 ИЛИ-НЕ: K561ЛЕ5) и линии задержки (интегрирующая цепь), преобразуется в короткий импульс (длительность 1 нс... 100 мс).

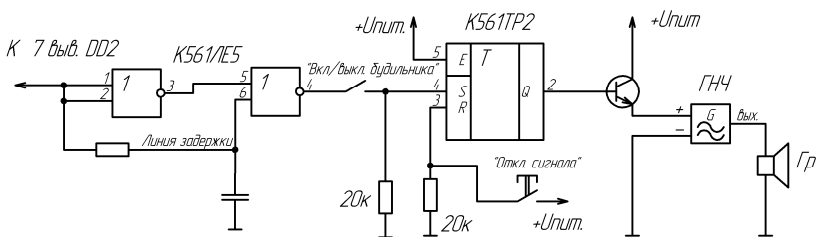


Рис. 8. Подключение автогенератора частоты к часам с использованием ИМС «K561TP2»

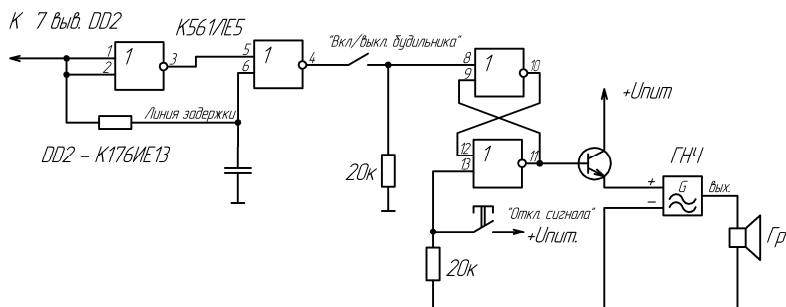


Рис. 9. Подключение автогенератора звуковой частоты к часам без использования ИМС «K561TP2»

Полученный короткий импульс попадает на вход установки и устанавливает на выходе RS-триггера (K561TP2 по рис. 8 или два логических элемента ИЛИ-НЕ у ИМС «K561ЛЕ5» по рис. 9 [1]) состояние «1», открывает транзистор, и автогенератор начинает издавать звуковой сигнал. Даже после прекращения импульса длительностью минуту на выходе HS, если часы не трогать, на выходе триггера останется «1», и автогенератор будет продолжать работать сколько угодно долго. Звуковой сигнал можно прервать, отключив питание (но сбросится время) или нажав на кнопку «Откл. сигнал». При нажатии этой кнопки на вход сброса RS-триггера попадает «1» и на триггер сбрасывается. Транзистор сразу закрывается, на автогенератор перестает попадать напряжение питания и он отключается. Тумблер «Вкл./выкл будильника» позволяет включать или выключать функцию будильника на часах. При положении «Будильник выкл» тумблер разрывает цепь и на вход

установки RS-триггера импульс попадать не будет, из-за этого на выходе будет постоянно «0», автогенератор запускаться не будет, пока тумблер не переведем в положении «Вкл».

### **Выводы**

Сочетания счетчиков, логических элементов, триггеров, большая предсказуемость работы, в отличие от аналоговой схемотехники, позволяет относительно легко понять принцип работы схемы электронных часов и модернизировать ее.

### **Список литературы**

1. *Мальцева, Л. А.* Основы цифровой техники / Л. А. Мальцева и др. – М. : Радио и связь, 1986. – 128 с.
2. *Бирюков, С. А.* Электронные часы на МОП электронных микросхемах: Справочное пособие. – М. : Радио и связь, 1993. – 48 с.
3. *Бирюков, С. А.* Применение цифровых микросхем ТТЛ и КМОП. – М. : ДМК Пресс, 2000. – 240 с.

## **Modernization of an electronic clock**

**Abstract.** *Article contains the analysis of operation of the circuit of clock, options of change of the circuit under other material basis and additional functions of the clock.*

**Keywords:** electronic clock, modernization, hinge plate, impulse technique, counters, integrated microcircuit, series 176.

УДК 620.92, 662.7

*В. П. Друзьянова*, канд. техн. наук, доц.,  
зав. кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»

E-mail: <sup>1</sup> druzvar@mail.ru

*А. В. Спиридонова*, ассистент

E-mail: Nastya-AiFO@mail.ru

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, г. Якутск

*В. П. Тарануха*<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.,

зав. кафедрой «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры»

*В. А. Глушков*<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доц.

Vladimir.Glushkov@gmail.com

Ижевский государственный технический университет

имени М. Т. Калашникова

## **Применение пиролизной установки ГВА-1 в лаборатории Северо-Восточного федерального университета**

*В статье описываются проблемы, которые возникли при запуске установки ГВА-1 в условиях лаборатории «Альтернативные источники энергии» Автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета, а также их решение. Приведенные доработки позволили улучшить режимы работы пиролизной установки.*

**Ключевые слова:** паронит, асбест, обратный клапан, пиролиз, ТЭН.

### **Введение**

По договору о совместном сотрудничестве с ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет» в 2013 году СВФУ приобрел лабораторную пиролизную установку ГВА-1, разработанную коллективом кафедры «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры» по проекту канд. техн. наук, доц. В. А. Глушкова (рис. 1). Техническая концепция установки защищена патентом РФ на изобретение [1] и описана в монографии [2]. Конструктивные и технологические особенности установки описаны в работах [3–5].

### **Проблемы и решения**

При запуске установки в условиях лаборатории «Альтернативные источники энергии» автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета возникли следующие проблемы:

1. Недостаточная герметичность терморектора.

2. Конденсат воды обратно закачивался в терморектор.

3. Нагревательные элементы (ТЭНы) без защитных кожухов. При утилизации происходит налипание сырья на поверхностях ТЭНов, что укорачивает срок их службы.



*Рис. 1.* Общий вид экспериментальной пиролизной установки ГВА-1:  
1 – терморектор; 2 – гидрозатор; 3 – электронный блок контроля и управления; 4 – рама; 5 – газовое оборудование; 6 – датчики температуры

Вышеназванные проблемы устранены следующим образом.

При первом запуске установки в ноябре 2013 г., когда перерабатывали древесные опилки, процесс пиролиза не был достигнут. Как оказалось, крышка терморектора не обеспечивала требуемую для процесса герметичность. Это послужило разгерметизации реактора, ис-

ключило возможность достижения процессом высокого давления, произошли большие потери мощности. Данная проблема устранена применением:

- паронитового листа (рис. 2);
- базальтовой ваты (рис. 3);
- асбестовой ленты (рис. 4).

Паронит – листовый материал, который представляет собой продукт вулканизации смеси из нескольких составляющих: волокон асбеста (их доля достигает 60–70 %), наполнителей минерального происхождения (15–18 %), каучука, растворителя (12–15 %) и серы (1,2–8 %). Изготавливается путем вальцевания описанной смеси под высоким давлением [6].



*Рис. 2. Паронитовый лист*



*Рис. 3. Базальтовая вата*



Рис. 4. Асбестовая лента

Таблица 1. Техническая характеристика минеральной ваты

| Наименование параметров                        | Минеральная вата |
|--|------------------|
| Предельная температура применения, °С          | от -60 до +450   |
| Средний диаметр волокна, мкм                   | от 5 до 15       |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)         | 0,038–0,046      |
| Наличие связующего, %                          | от 2,5 до 10     |
| Теплоемкость, Дж/кг·К                          | 1050             |
| Температура спекания, °С                       | 450–500          |
| Длина волокон, мм                              | 15–50            |
| Коэффициент звукопоглощения                    | от 0,8 до 92     |
| Химическая устойчивость(потеря веса), % в воде | 6,2              |

Асбест – это общее название группы тонковолокнистых минералов класса силикатов, из которых изготавливают различные строительные материалы. В наше время широкое распространение получили асбестовые материалы, применяемые в различных областях техники, строительстве, промышленности и даже ракетостроении. Асбестовую нить применяют в качестве теплоизоляционного материала в различных тепловых агрегатах и теплопроводящих системах при температуре до 400 °С [7].

Следующей проблемой в эксплуатации пиролизной установки ГВА-1 явилось то, что при остывании термореактора вода, накопленная в гидрозатворе, в связи с перепадом температуры и давления пере-

качивается обратно в емкость терморектора. В целях устранения этой проблемы был установлен обратный клапан (рис. 5).

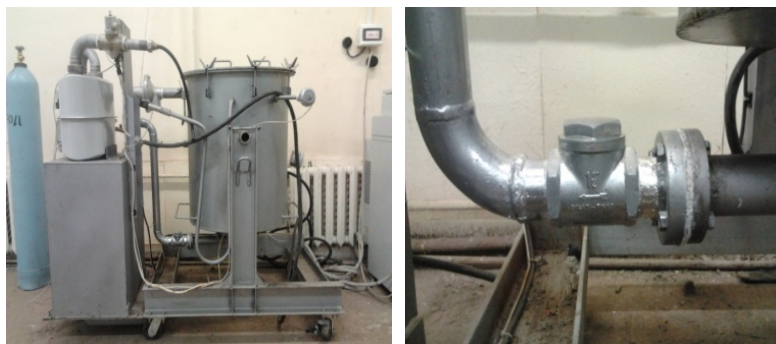


Рис. 5. Обратный клапан

Обратный клапан – вид защитной трубопроводной арматуры, предназначенный для недопущения изменения направления потока среды в технологической системе [8]. Обратные клапаны пропускают среду в одном направлении и предотвращают ее движение в противоположном, действуя при этом автоматически и являясь арматурой прямого действия (наряду с предохранительными клапанами и регуляторами давления прямого действия). С помощью обратной арматуры защищается различное оборудование, трубопроводы, насосы и сосуды под давлением, а также возможно существенно ограничить течь рабочей среды из системы при разрушении ее участка [8].

Соединительная труба (газоход) – это труба, представляющая собой соединение терморектора с гидрозатвором, позволяющая проходить отработавшим газам в следующую стадию. Как правило, она сильно нагревается, и из-за этого прокладки быстро сохнут и теряют свои качества, что влечет за собой негерметичность соединений.

Болтовые соединения проржавели, и при снятии внутренние резьбы фланца были повреждены. Все болтовые соединения заменены на новые, а на внутренней поверхности фланца были нарезаны резьбы большего диаметра. Поверх паронитовых прокладок нанесли термостойкий герметик – формователь прокладок силиконовый с медью Done Deal, для повышения герметизации. Этот герметик предназначен для соединений, которые работают в повышенных температурных средах. За счет содержания меди обладает повышенной термостойкостью и долговечностью. После вулканизации сохраняет эластичность



и приобретает водостойкость. Рабочий диапазон температур: от –70 до +370 °С.

Для того чтобы установить обратный клапан, сняли соединительную трубу, отрезали нижнюю часть и вместо него методом сварки прикрепили трубы с резьбой. Далее, в трубы установили итальянский муфтовый створчатый обратный клапан.

**Таблица 2. Технические характеристики итальянского муфтового створчатого обратного клапана**

| Уплотнение               | Резина/Металл |
|--------------------------|---------------|
| Прокладка                | Волокно       |
| Крышка                   | Латунь        |
| Шток                     | Латунь        |
| Корпус                   | Латунь        |
| Диск                     | Латунь        |
| Максимальная температура | 190 °С        |
| Максимальное давление    | 50 бар        |

Технология установки обратного клапана состояла из следующих операций: сняли соединительную трубу (1) и укоротили на несколько мм. Далее, к трубе приварили итальянский муфтовый створчатый обратный клапан (2). Обратный клапан обеспечивает полноценную и эффективную работу пиролизной установки и рекомендуется к применению во всех установках такого типа.

Изоляция ТЭНов. На три ТЭНа были надеты трубы длиной 300 мм с диаметром 22 мм. Последующие эксперименты проводили на установке с защитными кожухами на ТЭНах.

### **Заключение**

Таким образом, вышеприведенные доработки позволили достичь лучших режимов работы пиролизной установки.

Начато проведение экспериментов по получению топливного пиролизного газа из древесного опила и измельченной резиновой автопокрышки. Применение технологии пиролиза имеет потенциальную возможность снижения энергозатрат СВФУ за счет переработки органической части отходов жизнедеятельности ВУЗа (пример оценки такой перспективы – [9]).

### **Список литературы**

1. Патент РФ А 1 2225573 RU 7 F23G5/027. Установка для пиролиза углеводородных отходов / Глушков В. А. – № 2002120394/03; заявл. 29.07.2002. // Изобретения. Полезные модели. – 2004. – № 7.

2. Глушков, В. А. Анализ проблемы поиска альтернативы нефти и природному газу. – Москва ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. – 200 с.

3. Глушков, В. А. Экспериментальная установка для пиролизической переработки биомассы с повышенной энергетической отдачей / В. А. Глушков, В. П. Тарануха, А. Ю. Печенкин // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. 07–09 декабря 2010 г. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – С. 29–35.

4. Глушков, В. А. Результаты испытаний экспериментальной пиролизной установки / В. А. Глушков, В. П. Тарануха, А. Ю. Печенкин // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : сб. материалов VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 50-летию приборостроительного факультета. 15–17 ноября 2011 г. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 244–245.

5. Глушков, В. А. Технологические режимы получения энергоносителей путем переработки биомассы / В. А. Глушков, В. П. Тарануха, А. Ю. Печенкин, И. Г. Русяк. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – 112 с.

6. Разновидности асбестовых материалов и их характеристики [Электронный ресурс] // ОгнеупорЭнергоХолдинг [Сайт]. – Дата размещения: 05.12.2010. – URL: <http://ogneupor.ru/asbestovye-materialy.html> (дата обращения: 11.01.2016).

7. Асбест [Электронный ресурс] // Википедия [Сайт]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Асбест> (дата обращения: 11.01.2016).

8. Обратный клапан [Электронный ресурс] // Википедия [Сайт]. – URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Обратный\\_клапан](http://ru.wikipedia.org/wiki/Обратный_клапан) (дата обращения: 11.01.2016).

9. Глушков, В. А. Возможности энергоресурсосбережения для ИжГТУ при использовании биомассы // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : сб. материалов VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 50-летию приборостроительного факультета. 15–17 ноября 2011 г. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 241–243.

## **GVA-1 pyrolysis plant operation at the North-East Federal University laboratory of alternative energy**

**Abstract.** *The article describes the process of solving the problems that appeared in the course of operation of the GVA-1 pyrolysis plant at the “Alternative energy” laboratory of the Road faculty, North-Eastern Federal University, Yakutsk. The performed improvements allowed to enhance the operation modes of the pyrolysis plant.*

**Keywords:** paronite, asbestos, back-pressure valve, pyrolysis, heater.

*А. В. Жидяев*, старший преподаватель

*А. В. Коновалов*, студент

*И. С. Батури*н, аспирант

E-mail: Antoshka52@yandex.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Система автоматического измерения чувствительности приемника**

Наиболее актуальной проблемой в радиоэлектронной промышленности является автоматизация измерения при регулировке и настройке радиоаппаратуры. Автоматизация измерений основных параметров и характеристик радиоаппаратуры позволяет резко уменьшить влияние человеческого фактора на результаты этого процесса, поскольку сводятся к нулю субъективные ошибки, упрощается процесс обучения и тренировок регулировщика, значительно сокращается время испытаний или калибровки. Все это снижает стоимость испытаний и, как следствие, разработки и изготовления радиоаппаратуры, а также улучшает качество продукции, что в свою очередь влечет за собой увеличение объемов выпускаемой продукции.

Одним из ключевых параметров приемопередающих устройств является чувствительность приемного тракта. Существует несколько способов измерения чувствительности, но чаще всего используется метод СИНАД, описываемый ГОСТ 22579–86[3]. На вход приемника подают нормальный испытательный сигнал и измеряют отношение сигнал/шум. Чувствительность приемника определяется как  $\frac{1}{2}$  ЭДС входного сигнала, при котором отношение сигнал/шум равно 12 дБ при испытательной входной мощности. Если при данном отношении сигнал/шум выходная мощность приемника устанавливается меньше  $\frac{1}{2}$  испытательной входной мощности при полностью введенном регуляторе громкости, то за чувствительность приемника принимают минимальный уровень входного сигнала, при котором выходная мощность приемника равна  $\frac{1}{2}$  испытательной выходной мощности при полностью введенном регуляторе громкости [2].

Для проведения измерения чувствительности приемника методом СИНАД потребуются: высокочастотный генератор сигналов, измеритель нелинейных искажений, приемник.

Одной из трудностей, с которой приходится сталкиваться при автоматизации измерения чувствительности приемника, является отсутствие измерителя нелинейных искажений. Принцип действия измерителя нелинейных искажений основан на сравнении среднеквадратических значений напряжений высших гармоник и полного сигнала. Для исключения основной гармоники использован двухсекционный активный режекторный фильтр на базе моста Вина, управляемый цифровым кодом от электронно-счетного частотомера. Встроенный электронно-счетный частотомер позволяет измерять частоту основной гармоники при измерении коэффициента гармоник.

Для создания системы автоматического измерения необходима среда разработки, способная взаимодействовать с различными измерительными приборами и отображать данные в удобном для оператора виде. Подобными свойствами обладает разрабатываемая компанией National Instruments среда визуального программирования LabVIEW. На официальном сайте компании [4] представлен пример подобной системы измерений (рис. 1) под названием PXI [5], что подтверждает выбор среды разработки.

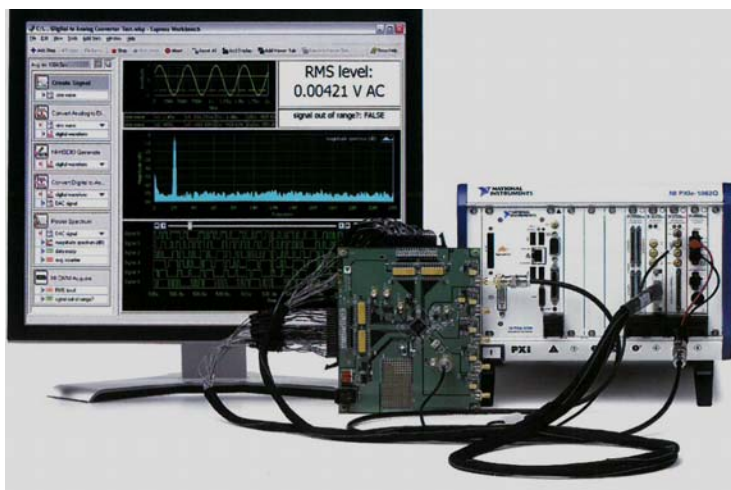


Рис. 1. Система измерений PXI

Характеристики данной установки:

- генерация аналоговых сигналов;
- ввод/вывод цифровых сигналов с частотой до 200 МГц;
- формирование напряжения  $\pm 20$  В, ток до 2 А.

В состав установки входит:

- генератор цифровых сигналов;
- анализатор цифровых сигналов;
- 14-разрядный цифровой осциллограф с частотой оцифровки 100 МГц;
- источник питания;
- матричный коммутатор;
- 6-разрядный цифровой мультиметр;
- 8-слотовое шасси PXI Express;
- контроллер;
- среда разработки LabVIEW;
- среда управления тестами NI TestStand.

Однако систему PXI использовать в данной разработке нецелесообразно по причине высокой стоимости и наличия на предприятиях измерительных приборов, необходимых для построения системы. Для взаимодействия со средой LabVIEW этим приборам необходимы специальные драйверы.

Для системы автоматического измерения чувствительности приемника достаточно:

- генератор ВЧ типа R&S SML;
- осциллограф типа Tectronix MSO4054B;
- персональный компьютер.



Рис. 2. Рабочее место для измерения чувствительности приемника

Подготавливая рабочее место (рис. 2) для измерения чувствительности приемника, согласно ГОСТ 22579–86 [3], необходим измеритель нелинейных искажений. Автоматизацию процесса измерения чувствительности приемника провести невозможно по причине отсутствия в приборе разъема для подключения к ПК. Имея в наличии техническое описание и инструкцию по эксплуатации на измеритель нелинейных искажений, его можно смоделировать в среде LabVIEW. Для остальных приборов можно использовать программные драйвера.

Программные драйвера представляют собой прикладной программный интерфейс взаимодействия с техническими устройствами, причем эти драйвера совместимы со всеми системами разработки прикладного программного обеспечения National Instruments, такими как LabVIEW, обеспечивают развитые возможности отображения и анализа, которые необходимы для технологии виртуальных измерительных приборов. Технология виртуальных измерительных приборов может быть использована для создания готовых к применению специализированных систем измерения и тестирования, а также систем промышленной автоматизации путем объединения различных аппаратных и программных компонент. При внесении изменений в системы, как правило, можно повторно использовать одни и те же компоненты виртуальных приборов, не приобретая дополнительные технические средства и программное обеспечение [1].

При использовании системы автоматического измерения чувствительности приемника трудозатраты сокращаются в несколько раз, а участие человека сводится к минимуму, что в свою очередь исключает человеческий фактор и приводит к минимуму количество ошибок при измерениях.

#### Список литературы

1. Измерения в LabVIEW. Руководство по применению.
2. ДЛИ.770.003 ТО. Измеритель нелинейных искажений автоматический. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
3. ГОСТ 22579–86. Радиостанции с однополосной модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений. – М. : Изд-во стандартов, 2001.
4. National Instruments [Сайт]. – URL: <http://www.ni.com/ru-ru.html> (дата обращения: 22.05.2016).
5. PXI Platform [Электронный ресурс] // National Instruments [Сайт]. – URL: <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/global/lang/ru/pg/1/sn/n24:PXI-FSLASH-CompactPCI/> (дата обращения: 22.05.2016).

## Измерение ударных ускорений с учетом особенностей объектов контроля

*Работа посвящена проблемам достоверности экспериментальных данных, получаемых при проведении высокоинтенсивных ударных испытаний, рассматриваются неинформативные воздействия на акселерометр в высокочастотной области и их влияние на качество информативного сигнала. Работа может оказаться полезной специалистам в области разработки измерительной техники.*

**Ключевые слова:** колебательная система, акустика, ударное ускорение, спектр сигнала, ток пьезоакселерометра, усилитель заряда, электромеханические аналогии.

Применение систем автоматизации проектирования и математического моделирования при конструкторской проработке изделий не снизило роль натуральных и стендовых испытаний. Наоборот, появилась необходимость *более тщательной проверки адекватности сложных математических моделей*, используемых для описания поведения технических объектов. **Основная задача испытаний – проверка адекватности расчетных математических моделей.** Проблема возникает тогда, когда результаты математического моделирования не совпадают с результатами натурального эксперимента. Данная работа посвящена вопросам, связанным с проведением высокоинтенсивных ударных испытаний и повышением метрологической надежности измерительных процедур регистрации и измерения ударных ускорений.

Большинство расчетных моделей строится в низкочастотной области, где имеются значительные относительные смещения и деформации элементов изделия [1]. С ростом частоты и, следовательно, с уменьшением времени воздействия относительные смещения, а следовательно, и деформации снижаются пропорционально квадрату времени действия ударного ускорения:

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad (1)$$

где  $S$  – смещение;  $a$  – ускорение;  $t$  – время воздействия.

При описании прочностных характеристик несущих конструкций наиболее информативным является диапазон частот 600...1500 Гц.

Однако при решении вопросов измерения ударных ускорений необходимо учитывать особенности контролируемых объектов и их поведение в более широком частотном диапазоне.

Во-первых, при столкновении двух тел первые две коснувшиеся друг друга точки меняют свою скорость мгновенно и, следовательно, в течение некоторого бесконечно малого промежутка времени испытывают бесконечно большое ускорение. Это не вызывает больших смещений и деформаций, но если это возмущение с помощью акустических каналов передается акселерометру, то результат в высокочастотной области может оказаться весьма существенным.

Во-вторых, с точки зрения акустики многие демпфирующие элементы, например резиновые амортизаторы и прокладки, при достижении критической частоты, определяемой скоростью звука, длиной волны и их линейными размерами, способны передавать ультразвуковые колебания от источника к приемнику [2, 3].

В-третьих, в сложной конструкции возможны вторичные, внутренние ударные процессы, вызванные, например, схлопыванием зазоров между крепежными элементами конструкции или в резьбовых соединениях, а также нелинейными явлениями.

Упрощенная модель испытываемого объекта представлена на рис. 1.

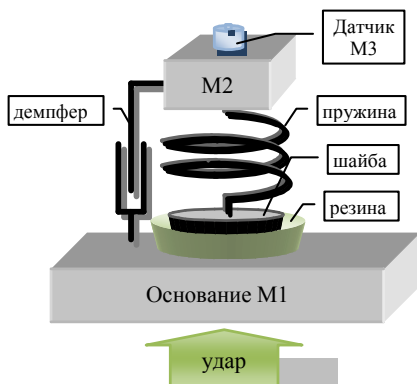


Рис. 1. Модель испытываемого объекта

Массе  $M_1$  соответствует масса основания конструкции, подвергаемой ударному воздействию.  $M_2$  – элемент конструкции вместе с корпусом закрепленного на нем датчика, упруго связанный с основанием



пружиной.  $M_3$  – сейсмическая масса акселерометра. Пружина, представляя собой упругую связь в области низких частот, в области высоких частот является акустическим волноводом, способным передавать колебания от  $M_1$  к  $M_2$ , крепится к шайбе, которая через резиновую прокладку соединена с основанием  $M_1$ . Резиновая прокладка на высоких частотах, когда длина волны становится соизмеримой с ее диаметром, не играет существенной роли, а в области низких частот может рассматриваться как составная часть пружины. Демпфер характеризует вязкое трение в системе. Аналогично можно рассматривать и колебательную систему датчика с массой  $M_3$ , где роль пружины играет чувствительный пьезоэлемент.

Для обеспечения качества измерений существенный интерес представляет поведение системы вблизи резонансных частот используемого датчика (80...100 кГц). Инженеру, занимающемуся разработкой средств регистрации и измерений, удобнее воспользоваться методом электромеханических аналогий [3, 4] и провести моделирование реакции датчика на входное воздействие и его выходных сигналов в среде проектирования электронных схем, например *MULTISIM*.

На рис. 2 представлен электрический аналог колебательной системы с двумя массами, в которой  $M_2 \gg M_3$ .

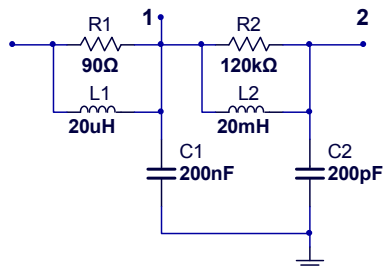


Рис. 2. Электрическая модель колебательной системы из двух масс

Эквивалентом массы  $M_2$  служит емкость  $C2$ ,  $M_3$  –  $C1$ . Предположим, что  $M_3$  – это сейсмическая масса датчика. Оба колебательных контура настроены примерно на одну частоту. Суммарная АЧХ представлена на рис. 3, а, а реакция на импульсное воздействие на рис. 3, б. Цель моделирования – продемонстрировать реакцию системы из двух масс на ступенчатое воздействие. Реакция системы с одной степенью свободы (одна масса) будет представлять собой затухающие колебания с размахом, максимум в два раза превышающим уровень входного ступенчатого воздействия (линия 1 на рис. 3, б). Чем выше доброт-

ность – тем медленнее затухание. В системе с двумя массами колебания первой будут накачивать амплитуду колебаний второй (линия 2).

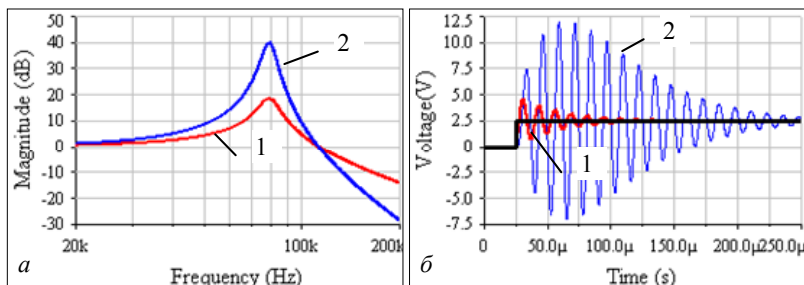


Рис. 3. АЧХ системы из двух масс (а) и ее отклик на ступенчатое воздействие (б)

Амплитуда колебаний в такой системе зависит от соотношения масс, добротностей и частоты настройки звеньев и может достигать существенных значений.

На рис. 4 первый колебательный контур заменен эквивалентом акустического тракта – длинной рассогласованной линией.

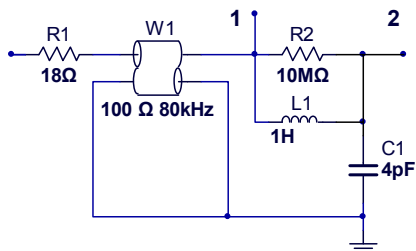


Рис. 4. Электрическая модель колебательной системы с акустическим трактом

Для данного случая основная частота акустического резонанса примерно соответствует частоте настройки  $L1C1$ -колебательного контура. Но увеличение амплитуды отклика наблюдается и в случае настройки контура на нечетные гармоники акустического резонатора, хотя и в меньшей степени. АЧХ системы и ее реакция на ступенчатое воздействие представлена на рис. 5. При акустическом резонансе, в отличие от механического, резонирует не только основная частота

настройки, но и ее четные гармоники, и колебания затухают в виде прямоугольных импульсов, а не синусоиды, хотя на практике в результате фазовых искажений форма импульса может существенно отличаться.

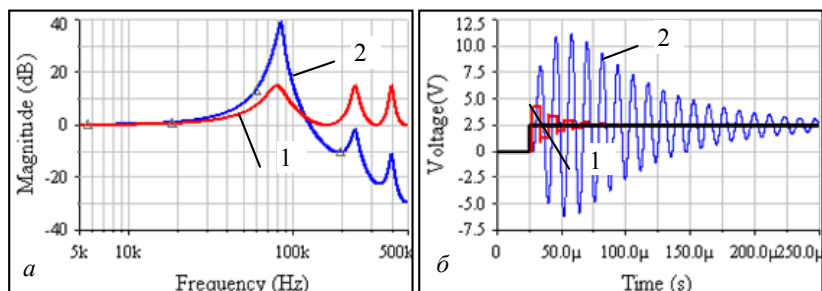


Рис. 5. АЧХ системы с резонатором (а)  
и ее отклик на ступенчатое воздействие (б)

В обоих случаях с возрастанием частоты происходит снижение информативной составляющей сигнала, но не самого сигнала.

Наличие большого количества как механических, так и акустических резонансов в высокочастотной области, а также высокочастотный резонанс самого акселерометра может привести к значительному увеличению амплитуды отклика датчика за счет наполнения в высокочастотной области. Эта проблема нашла отражение во многих зарубежных публикациях [5–11]. Изменились и требования к измерительной аппаратуре. Это касается и скорости нарастания выходного напряжения, и возможности скрытой перегрузки по напряжению при неправильно организованной фильтрации, и соблюдения требований теоремы о дискретизации сигнала. Наиболее полно все эти проблемы изложены в 13-й главе [12].

Однако существует еще одна проблема, связанная со способностью усилителя заряда воспринимать *выходной ток* пьезоакселерометра. На рис. 6 представлены результаты натурального эксперимента в диапазоне частот до 1 МГц, при этом резонансная частота датчика находилась в пределах 65...80 кГц. В верхней части представлены временные реализации сигналов как в полном диапазоне частот, так и с ограничением до 10 кГц. Отметим, что амплитуда полного сигнала превышает амплитуду информативного более чем в 7 раз. В средней части приведены спектры сигналов, причем спектр полного сигнала простирается до 800 кГц.

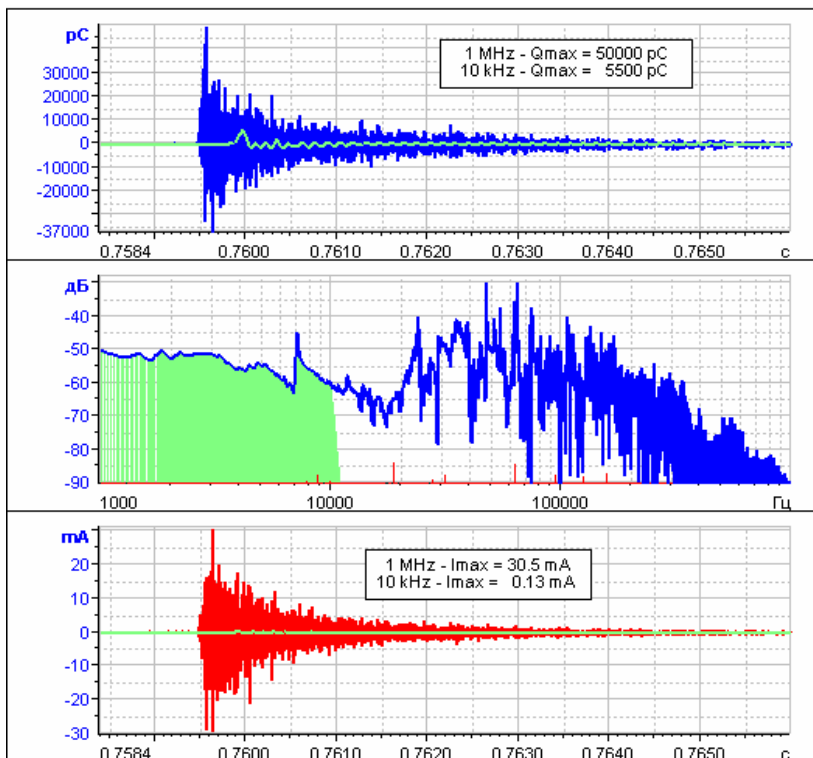


Рис. 6. Ударное воздействие проведённое в лабораторных условиях

В нижней части отображен результат дифференцирования выходного сигнала датчика, что соответствует выходному току пьезоакселерометра. Максимальный ток датчика в этом эксперименте в полном диапазоне частот превысил 30 мА и оказался в 200 раз больше тока полезного сигнала. При этом выходной заряд полезного сигнала датчика не превышал 7 % от полной шкалы и 50 % – во всем диапазоне частот.

### Выводы

При ударных испытаниях амплитуда выходного сигнала акселерометра в результате многочисленных резонансов различной природы, присущих испытуемым объектам за пределами информативного диапазона частот, и собственного высокочастотного резонанса мо-

жет существенно (в десятки раз) превышать амплитуду информативного сигнала.

Выходной ток пьезоакселерометров в процессе ударных испытаний может достигать десятков и даже сотен мА и вызывать перегрузку усилителей заряда, используемых совместно с этими датчиками, и, соответственно, служить причиной искажения полезного сигнала.

При проведении высокоинтенсивных ударных испытаний необходимо учитывать специфику испытаний и особенности испытываемых объектов, а также выходные токи применяемых пьезодатчиков. Для повышения метрологической надежности измерения ударных ускорений при разработке входных согласующих усилителей необходимо уделять повышенное внимание их нагрузочной способности.

### Список литературы

1. *Субботин, С. Г.* Динамика ударостойких конструкций / С. Г. Субботин. – Снежинск : Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2003. – 176 с.
2. *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 : труды научно-технической конференции. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2001. – С. 205–210.
3. *Голямина, И. П.* Ультразвук. Маленькая энциклопедия / глав. ред. И. П. Голямина. – М. : Сов. энциклопедия, 1979. – 400 с.
4. *Ольсон, Г.* Динамические аналогии / пер. с англ. – М. : Иностранная литература, 1947. – 224 с.
5. *Jonsson, M.* Development of a Shock Test Facility for Qualification of Space Equipment. Department of Applied Mechanics, Göteborg, Sweden, 2012.
6. *Patrick, L. Walter.* Lessons learned in applying accelerometers to nuclear effects testing // J. of Shock and Vibration 15, IOS Press, 2008. – P. 619–629.
7. *Walter, P. L.* Pyroshock Explained. – PCB Piezotronics, Inc., Engineering Faculty, Texas Christian University Depew, NY 14043 Fort Worth, TX 76129 PCB Piezotronics, Inc.
8. *Agnello, A.* Acceleration sensing technologies for severe mechanical shock / A. Agnello, J. Dosch, R. Metz, R. Sill, P. Walter // Sound & Vibration J., February, 2014. – P. 8–19.
9. *Bateman, V. I.* Validation of pyroshock data / V.I. Bateman, H. Himelblau, R. Merritt // Sound and Vibration J., March 2012. – P. 6–11.
10. *Bateman, V. I.* Pyroshock standards // Sound & Vibration J., March, 2011. – P. 5–6.
11. *Bateman, V. I.* Pyroshock testing update // Sound & Vibration J., March, 2009. – P. 5–6.
12. *Harris, C. M.* Harris' shock and vibration handbook / C.M. Harris, editor, A.G. Piersol, editor. – 6<sup>th</sup> ed. – McGraw-Hill, 2010. – 1199 p.

## **Shock acceleration measurement taking into account object under test peculiarities**

**Abstract.** *The work is devoted to the problems of reliability of experimental data obtained during high-intensity impact test, are considered uninformative effects on the accelerometer in the high frequency region and their impact on the quality of the informative signal. The work may be useful to specialists in the field of development of measurement technology.*

**Keywords:** vibrating system, acoustics, shock acceleration, the spectrum of the signal, the current of piezoaccelerometers, charge amplifier, electromechanical analogy.

УДК 004.052.42, 004.052.44

*И. С. Марченко*, студент  
E-mail: IlyaZiU682@yandex.ru

*И. В. Манченко*, студент  
E-mail: manchenko\_ilya@mail.ru

*И. В. Манченко*, студент  
E-mail: vanyusha.chaynikov@mail.ru

*И. Л. Мирзаханов*, студент  
E-mail: resnart@mail.ru

*В. А. Глушков*, канд. техн. наук, доц.  
E-mail: GL@idz.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Сравнение алгоритмов защиты кода от помех

*Приведен анализ и сравнение таких алгоритмов защиты кода от помех, как метода четности-нечетности, корректирующего мажоритарного кода и кода Хэмминга. Приведено краткое описание данных алгоритмов и пример кодирования, в том числе с внесением ошибки, в каждом из методов.*

**Ключевые слова:** помехозащищенность, код Хэмминга, мажоритарный код.

### Введение

В эру развития техники, с появлением космических спутников и ракет, космос стал неотъемлемой частью нашей жизни. Именно с помощью спутников мы имеем возможность каждый день, 24 часа в сутки пользоваться связью, смотреть привычные нам телеканалы, более того, мы можем отследить свое местоположение с помощью смартфона, который имеет функцию спутниковой навигации. Таких примеров очень много, на наш взгляд, все прекрасно осознают роль космических аппаратов в жизни землян.

Космический аппарат – это очень сложная, четко отлаженная система, состоящая из различного рода блоков. Помимо разгонных ступеней и различного рода механических узлов, в нем также имеет место вычислительная техника, способная четко, по заданному алгоритму совершать управление полетом космического аппарата в автономном режиме.

Все это довольно просто выглядит с точки зрения земной среды, но все совершенно меняется при переносе такого, своего рода «робота», в условия космической среды, где действуют различные внешние факторы, влияющие на работу системы.

Одним из таких факторов может являться радиационный фон, электромагнитная деятельность Солнца. Все это может вызывать помехи при работе электронных устройств, что неблагоприятно сказывается на их работе. В частности, рассмотрим флеш-память как неотъемлемую часть электронно-вычислительного устройства.

Существует множество программных способов обнаружения и исправления ошибок в кодовых последовательностях. Но какой же из них наиболее простой и эффективный?

Мы выбрали для данного исследования 3 различных алгоритма исправления ошибок: метод четности-нечетности, корректирующий мажоритарный код и код Хэмминга.

Рассмотрим их подробнее.

### **Контроль по методу четности-нечетности**

Суть метода заключается в том, что в математическом коде выделяется один контрольный разряд ( $k$ ). К каждому двоичному числу добавляется один избыточный разряд и в него записывается 1 или 0 с таким условием, чтобы сумма цифр в каждом числе была по модулю 2 равна 0 для случая четности или 1 для случая нечетности. Появление ошибки в кодировании обнаружится по нарушению четности (нечетности). При таком кодировании допускается, что может возникнуть только одна ошибка [1].

#### ***Пример реализации метода четности***

Закодируем сообщение: «ИжГТУ» с помощью таблицы ASCII и добавим контрольный разряд  $k$ :

11001000 11100110 11000011 11010010 11010011

Добавим контрольный разряд  $k$  (табл. 1). Допустим, что в результате передачи информации в одном из битов произошла ошибка табл. 2.

Сравнивая контрольные разряды табл. 1 и 2, видим, что ошибка произошла во второй строке.

Суть метода в том, что контрольный разряд добавляется как к строкам, так и к столбцам. Там, где происходит ошибка, значения контрольных разрядов, образующих своим пересечением место ошибки, меняются на противоположные. По этой информации можно сделать вывод о том, где нужно поменять значение на противоположное для устранения ошибки [2].



Таблица 1. Добавлен контрольный разряд  $k$

| $l$ | $l$ | $l$ | $0$ | $l$ | $l$ | $0$ | $0$ | $k$ |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   |
| 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   |
| 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   |

Таблица 2. Внесение ошибки

| $l$ | $l$ | $l$ | $l$ | $l$ | $l$ | $0$ | $0$ | $k$ |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   |
| 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   |
| 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   |

### Корректирующий мажоритарный код (КМК)

Корректирующий мажоритарный код (КМК) также называют кодом по голосованию либо кодом удвоения.

Данный код образуется путем добавления к исходному коду контрольной части, содержащей  $K$  удвоений, где  $K$  – нечетное число ( $K = 3, 5, 7, \dots$ );  $P_i$  – номер позиции;  $S$  – итерация.

#### Генерация КМК

Пусть дано сообщение:

1100100011100110110000111101001011010011 (ИжГТУ).

Оно содержит 40 бит информации.

К исходному коду добавляется контрольная часть, содержащая  $k$  удвоений ( $k = 3, 5, 7$ ).

Запишем макет для 3-удвоения:

$$\text{КМК}(120; 40)=$$

$$\begin{aligned}
 &1100100011100110110000111101001011010011 \\
 &1100100011100110110000111101001011010011 \quad (1) \\
 &1100100011100110110000111101001011010011.
 \end{aligned}$$

#### Диагностика

Для каждого информационного бита строится свой синдром. При одинаковых синдромах ошибка отсутствует. В противном случае ошибка находится в позиции с «наименьшим числом голосов» [3].

Передано:

1100100011100110110000111101001011010011

1100100011100110110000111101001011010011

1100100011100110110000111101001011010011.

Принято:

1100101011100110110000111101001011010011

1100100011100110110000110101001011010011

1100100011100110110100111101001011010011.

Для П1 S1 {П1,П41,П81}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П2 S2 {П2,П42,П82}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П3 S3 {П3,П43,П83}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П4 S4 {П4,П44,П84}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П5 S5 {П5,П45,П85}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П6 S6 {П6,П46,П86}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П7 S7 {П7,П47,П87}={1,0,0} => есть ошибка, П7.

Для П8 S8 {П8,П48,П88}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П9 S9 {П9,П49,П89}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П10 S10 {П10,П50,П90}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П11 S11 {П11,П51,П91}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П12 S12 {П12,П52,П92}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П13 S13 {П13,П53,П93}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П14 S14 {П14,П54,П94}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П15 S15 {П15,П55,П95}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П16 S16 {П16,П56,П96}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П17 S17 {П17,П57,П97}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П18 S18 {П18,П58,П98}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П19 S19 {П19,П59,П99}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П20 S02 {П20,П60,П100}={0,0,1} => есть ошибка, П100.

Для П21 S21 {П21,П61,П101}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П22 S22 {П22,П62,П102}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П23 S23 {П23,П63,П103}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П24 S24 {П24,П64,П104}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П25 S25 {П25,П65,П105}={1,0,1} => есть ошибка, П65.

Для П26 S26 {П26,П66,П106}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П27 S27 {П27,П67,П107}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П28 S28 {П28,П68,П108}={1,1,1} => нет ошибки.

Для П29 S29 {П29,П69,П109}={0,0,0} => нет ошибки.

Для П30 S30 {П30,П70,П110}={0,0,0} => нет ошибки.  
 Для П31 S31 {П31,П71,П111}={1,1,1} => нет ошибки.  
 Для П32 S32 {П32,П72,П112}={0,0,0} => нет ошибки.  
 Для П33 S33 {П33,П73,П113}={1,1,1} => нет ошибки.  
 Для П34 S34 {П34,П74,П114}={1,1,1} => нет ошибки.  
 Для П35 S35 {П35,П75,П115}={0,0,0} => нет ошибки.  
 Для П36 S36 {П36,П76,П116}={1,1,1} => нет ошибки.  
 Для П37 S37 {П37,П77,П117}={0,0,0} => нет ошибки.  
 Для П38 S38 {П38,П78,П118}={0,0,0} => нет ошибки.  
 Для П39 S39 {П39,П79,П119}={1,1,1} => нет ошибки.  
 Для П40 S40 {П40,П80,П120}={1,1,1} => нет ошибки.  
 Для сильно зашумленных каналов применяют 7, 9 удвоенный.

### **Коррекция**

Инвертируем ошибочные позиции

$$П7 = 0$$

$$П65 = 1$$

$$П100 = 0.$$

### **Декодирование**

Удаляем контрольные биты, получаем исходное сообщение:

1100100011100110110000111101001011010011.

### **Код Хемминга**

Код Хемминга – это блочный код, который позволяет исправлять одиночные ошибки и фиксировать двойные. Данный метод был разработан Ричардом Хеммингом в сороковых годах прошлого столетия.

Идея кодов Хемминга заключается в разбиении данных на блоки фиксированной длины и вводе в эти блоки контрольных бит, дополняющих до четности несколько пересекающихся групп, охватывающих все биты блока.

При длине кодируемого информационного блока в  $m$  бит и при количестве контрольных бит, используемых для его кодирования, равном  $k$ , закодированный блок будет иметь длину исходя из формулы (2):

$$n = m + k. \quad (2)$$

Для каждого блока такой длины возможны  $n$  различных комбинаций, содержащих ошибку.

Таким образом, для каждого передаваемого информационного блока может существовать  $n$  блоков, содержащих однократную ошибку,

и один блок – без ошибок. Следовательно, максимальное количество различных закодированных блоков, содержащих не более одной ошибки, будет вычисляться формулой (3), где  $n$  определяется по формуле (2).

$$N = 2m(n + 1). \quad (3)$$

Каждый контрольный бит имеет строго определенную позицию. Номер позиции определяется по степеням двойки [4].

Возьмем кодирование на примере слова «ИжГТУ» (1100100011100110110000111101001011010011).

Разобьем данное слово на три части (Иж – 1100100011100110; ГТ – 1100001111010011; У – 11010011).

Определим необходимое число и позиции контрольных битов: для последовательности из 16 бит это будут позиции – 1, 2, 4, 8, 16; для последовательности из 8 битов – 1, 2, 4, 8.

С учетом контрольных битов, установленных в нули, получим выражения:

001010001000111000110

0010100000111110010011

001010100011.

Для вычисления значения каждого контрольного бита необходимо понять, за какие биты отвечает каждый контрольный бит. При этом прослеживается следующая закономерность: контрольный бит с номером  $N$  контролирует все последующие  $N$  бит через каждые  $N$  бит, начиная с позиции  $N$  [5]. Вышесказанное поясняется в табл. 3.

Знаком «X» обозначены те биты, которые контролирует контрольный бит, номер которого справа. Чтобы узнать какими битами контролируется бит с номером  $N$  необходимо разложить  $N$  по степеням двойки.

Для определения значения контрольного бита необходимо сложить все подконтрольные биты данному контрольному биту и взять сумму по модулю 2 (берем каждый контрольный бит и смотрим, сколько среди контролируемых им битов единиц, получаем некоторое целое число и, если оно четное, то ставим ноль, иначе единицу). Высчитав контрольные биты для нашего примера, получим:

001110001000111000110

001110000011110110011

011110100011.

Таблица 3. Расположение контрольных битов

|          |          |   |          |   |   |   |          |   |    |    |    |    |    |    |          |    |    |    |    |    |    |
|----------|----------|---|----------|---|---|---|----------|---|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|----|
| 1        | 2        | 3 | 4        | 5 | 6 | 7 | 8        | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16       | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| <u>0</u> | <u>0</u> | 1 | <u>0</u> | 1 | 0 | 0 | <u>0</u> | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | <u>0</u> | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  |    |
| X        |          | X |          | X |   | X |          | X |    | X  |    | X  |    | X  |          | X  |    | X  |    | X  | 1  |
|          | X        | X |          |   | X | X |          |   | X  | X  |    |    | X  | X  |          |    | X  | X  |    |    | 2  |
|          |          |   | X        | X | X | X |          |   |    |    | X  | X  | X  | X  |          |    |    |    | X  | X  | 4  |
|          |          |   |          |   |   |   | X        | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  |          |    |    |    |    |    | 8  |
|          |          |   |          |   |   |   |          |   |    |    |    |    |    |    | X        | X  | X  | X  | X  | X  | 16 |

Далее, если в коде образуется ошибка, то аналогично, вычисляя значения контрольных битов (сумм значений подконтрольных битов по модулю 2), можно определить, в каком бите ошибка. Для нашего примера внесем ошибку в бит 3:

000110001000111000110.

Значения контрольных битов первоначально: 00100.

Пересчитаем контрольные биты:

110110001000111000110.

Значения контрольных битов после внесения ошибки: 11100.

Как видно из примера, не совпадают 1 и 2 контрольные биты. Их сумма дает нам число бита, содержащего ошибку. Изменяя его значение на противоположное, исправляем ошибку. В нашем случае ошибка в бите номер 3.

### Заключение

Из исследованных нами методов самым практичным и эффективным, на наш взгляд, является Корректирующий мажоритарный код (КМК). Данный метод позволяет определять и исправлять несколько ошибок, в отличие от метода четности-нечетности и кода Хэмминга, что является преимуществом при высокой интенсивности помех.

### Список литературы

1. Кодирование по методу четности-нечетности [Электронный ресурс] // koralexand.ru [Сайт]. – URL: [http://koralexand.ru/?page\\_id=133](http://koralexand.ru/?page_id=133) (дата обращения: 08.11.2015).

2. Контроль по четности-нечетности [Электронный ресурс] // life-prog.ru. Языки программирования [Сайт]. – Дата размещения: 28.11.2014. – URL: [http://www.life-prog.ru/1\\_56221\\_kontrol-po-chetnosti-nechetnosti.html](http://www.life-prog.ru/1_56221_kontrol-po-chetnosti-nechetnosti.html) (дата обращения: 18.11.2015).

3. Корректирующий циклический код: генерация, диагностика, коррекция, декодирование [Электронный ресурс] // Geum.ru. Образовательный портал

[Сайт]. – URL: <http://geum.ru/doc/work/146000/6-ref.html> (дата обращения: 15.11.2015).

4. Коды Хемминга [Электронный ресурс] // HiT: Все о Hi-Tech [Сайт]. – URL: [http://all-ht.ru/inf/systems/p\\_0\\_14.html](http://all-ht.ru/inf/systems/p_0_14.html) (дата обращения: 09.11.2015).

5. Код Хэмминга. Пример работы алгоритма [Электронный ресурс] // Хаб-рахабр [Сайт]. – URL: <http://habrahabr.ru/post/140611/> (дата обращения: 08.11.2015).

## **Error-correcting codes comparison**

**Abstract.** *Comparative analysis of the following algorithms of code noise protection is performed in the paper: even-odd check, majority correction code, Hamming code. The brief description of each algorithm is given along with examples of their work with introduced errors.*

**Keywords:** noise immunity, Hamming code, majority correction code.

С. М. Молин, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.  
E-mail: molin@ftiudm.ru  
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск

## **Новый показатель ремонтопригодности радиоэлектронной аппаратуры с повышенной стойкостью к внешним воздействиям**

*В статье приведен анализ вариантов конструкций радиоэлектронной аппаратуры, обеспечивающих защиту от внешних воздействующих факторов, с оценкой их приспособленности к ремонту. В статье рассмотрены также существующие показатели ремонтопригодности изделий, сделан вывод о необходимости введения нового показателя – глубины ремонтопригодности – и соответствующего коэффициента, приведен пример использования нового показателя.*

**Ключевые слова:** внешний воздействующий фактор, показатели ремонтопригодности, глубина ремонтопригодности.

Радиоэлектронная аппаратура (РЭА) с повышенной стойкостью к внешним воздействиям применяется в тех случаях, когда требуется обеспечить ее стойкость (а также устойчивость или прочность) в условиях внешних воздействующих факторов (ВВФ) различной физической природы и интенсивности [1]. В зависимости от конкретной задачи аппаратуры и условий ее функционирования конструкторы применяют различные способы устранения ВВФ либо компенсации их влияния на РЭА.

При достаточно высоких уровнях внешних воздействий распространенным конструкторским приемом компенсации влияния ВВФ является заливка печатных плат или блоков РЭА специальными компаундами [2, 3]. Такое техническое решение при всей своей привлекательности и эффективности одновременно весьма затрудняет или делает невозможной процедуру замены электронных компонентов нижнего уровня – резисторов, конденсаторов, микросхем и т. д. При отказе РЭА с такой конструкцией часто просто утилизируется.

В последнее время появился ряд других технических решений, которые, обеспечивая высокий уровень стойкости аппаратуры к ВВФ, обеспечивают одновременно и возможность замены единичных электронных компонентов [4–10]. На рис. 1 приведены варианты компо-

новки РЭА с применением новых конструкционных демпфирующих материалов, к которым, например, относятся: дискретные рабочие среды [4, 5], терморасширяемые и нерасширяемые микросферы [6–8], микрогранулированные демпферы [9], закрытоячеистые пеноматериалы [10].

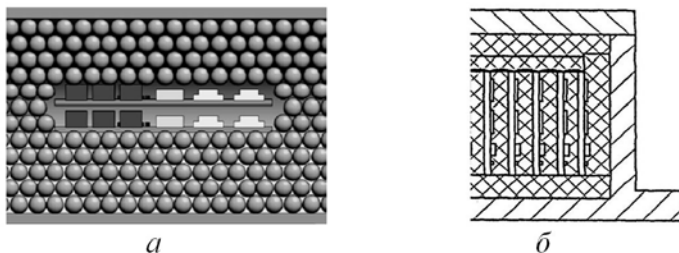


Рис. 1. Конструктивные варианты защиты РЭА от ВВФ с применением новых материалов: *а* – микрогранулированный демпфер; *б* – закрытоячеистый пеноматериал по патенту РФ № 91214 [10]

Такие решения более привлекательны с технической и экономической точек зрения в условиях ограниченности (или недоступности) ресурсов: можно проводить ремонт дорогостоящей аппаратуры, не закупая ее повторно и не нарушая существенно технологические циклы, в которых она задействована.

Таким образом, имеются альтернативные варианты конструкций РЭА со схожими потребительскими свойствами, но с разным качеством в части ремонтпригодности. Возникает закономерный вопрос: с помощью какого показателя ремонтпригодности можно сравнить такие варианты исполнения? Для ответа на этот вопрос обратимся к нормативной базе – государственному стандарту, действующему на территории Российской Федерации, – ГОСТ 21623–76 [11].

В указанном стандарте даны определения 65 показателей ремонтпригодности изделий. Для ответа на поставленный вопрос рассмотрим эти показатели более подробно.

Прежде всего, следует отметить, что в соответствии с ГОСТ 27.002–89 [12] под ремонтпригодностью понимается «свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их путем проведения ремонтов и технического обслуживания» [12, с. 2]. Следовательно, ключевым качеством в формировании свойства «ремонтпригодность», является «приспособленность» объекта к обнаружению и устранению отказов.



Анализ показателей ремонтпригодности, приведенных в [11], показывает, что первые 60 показателей можно свести в три большие группы, каждая из которых характеризуется, соответственно, так: продолжительность, трудоемкость, стоимость. Несомненно, что эти показатели являются производными от степени приспособленности объекта к ремонту, но они никак не характеризуют саму приспособленность, поскольку зависят от большого количества других факторов. Последние пять показателей – «Показатели технологичности объекта при техническом обслуживании и ремонте», – это коэффициенты: доступности, взаимозаменяемости, легкосъемности, унификации и стандартизации [11, с. 6]. Анализ этих показателей также не дает ответа на поставленный выше вопрос: первые три коэффициента являются производными от ранее введенных показателей трудоемкости (так указано в стандарте), а последние два – характеризуют унификацию и стандартизацию без оценки возможности для ремонтника добраться до «унифицированных» и «стандартизованных» деталей.

Таким образом, в основополагающем российском государственном стандарте по показателям ремонтпригодности нет показателя, позволяющего сравнивать различные по конструктивной приспособленности к ремонту варианты исполнения РЭА, стойкой к ВВФ.

В англоязычной литературе ремонтпригодность обозначается словом «maintainability», в буквальном переводе – «поддерживаемость». Из зарубежных источников, характеризующих ремонтпригодность РЭА, наиболее интересным представляется военный справочник США по прогнозу ремонтпригодности (Maintainability Prediction) [13], который посвящен анализу ремонтпригодности авиационной РЭА. В справочнике [13] для оценки приспособленности конструкции РЭА к ремонту используется специальная система подсчета очков (scoring), излагаются требования к процедурам диагностики неисправностей и к ремонтному персоналу. Кроме того, здесь же приведена методика оценки приспособленности РЭА к ремонту на различных функциональных уровнях (functional level), описанных отдельно, а также определены критерии доступности отдельных функциональных узлов для проведения операций ремонта и обслуживания. Однако, как и в российском ГОСТ 21623–76 [11], в справочнике [13] нет показателя, позволяющего сравнивать различные варианты конструктивного исполнения РЭА по критерию приспособленности к ремонту.

Таким образом, по существующему набору показателей и критериев ремонтпригодности невозможно сравнивать РЭА одинаковой стойкости к ВВФ с различными конструктивными схемами защиты. Между тем, совершенно очевидно, что РЭА, залитая компаундом, ме-

нее приспособлена для операций ремонта, чем РЭА, защищенная от ВВФ путем заполнения свободного пространства микрогранулированным демпфером или закрытоячеистым пеноматериалом: возможна полная разборка электронных блоков. Причем речь идет не об операциях ремонта, заключающихся в замене крупных монолитных блоков (которые правильнее называть восстановлением работоспособности, а не ремонтом), а о классическом ремонте путем замены единичных электронных компонентов (в английском языке – part). Хотя на первый взгляд кажется, что РЭА, ремонтируемая путем замены блоков, более ремонтпригодна: она быстрее восстанавливается. Однако при этом упускается из виду важный момент: для такого быстрого ремонта необходимы крупные (и дорогие) запасные части, а ремонт путем замены недорогих единичных электрорадиоэлементов невозможен.

Для характеристики ремонтпригодности такой РЭА предлагается ввести новый показатель – «глубина ремонтпригодности». В отличие от принятых в России и за рубежом показателей новый показатель характеризует принципиальную возможность ремонта на любом функциональном уровне РЭА. В таблице функциональные уровни представлены аналогично системе связи по военному справочнику США [13, с. 2–13, рис. 2-1], и этот подход принципиально ничем не отличается от принятого в России конструктивного разделения РЭА на платы, блоки, субблоки и т. д.

### Функциональные уровни РЭА

| Номер | Наименование  |
|-------|---|
| 1     | Система   |
| 2     | Функциональная подсистема                             |
| 3     | Аппаратура  |
| 4     | Функциональная группа                                 |
| 5     | Сборочный узел  |
| 6     | Сборочная единица                                     |
| 7     | Субблок (плата)                                       |
| 8     | Функциональный подузел на плате                       |
| 9     | Единичный электрорадиоэлемент (электронный компонент) |

Разумеется, вводимый критерий может использоваться и для РЭА обычного назначения (и вообще для любых изделий), но его необходимость наиболее ярко проявляется именно для РЭА с высокой стойкостью к ВВФ, поскольку для нее защитные конструктивные меры ведут к недоступности единичных элементов конструкции или схемы.

Критерием глубины ремонтпригодности является максимальный по номеру функциональный уровень (таблица), на котором возможен

ремонт. Для численного выражения нового показателя вводится специальный коэффициент глубины ремонтпригодности. При использовании порядковой шкалы этот коэффициент может быть определен как номер функционального уровня, пригодного (или возможного) для ремонта: для разбиения, приведенного в таблице, его значения могут быть от 1 до 9. Однако целесообразнее использовать другой вариант определения коэффициента глубины ремонтпригодности  $K_{ГР}$  – в виде отношения:  $K_{ГР} = U_p / N_y$ , где  $U_p$  – обеспечиваемый конструкцией функциональный уровень, на котором возможен ремонт (от 1 до 9 по табл. 1);  $N_y$  – общее число функциональных уровней, на которые разделена система (равно 9 по таблице). Второй вариант более удобен в применении, так как его значение всегда  $\leq 1$ , как у большинства показателей надежности.

Примером использования нового показателя является приведенное ниже сравнение двух вариантов ударостойкой регистрирующей аппаратуры. Автономный регистратор, опубликованный в [2], полностью залит компаундом и имеет поэтому  $K_{ГР} = 0,1$ : при отказе он просто утилизируется. Ударостойкая аппаратура [14] разработки Физико-технического института Уральского отделения РАН (ФТИ УрО РАН, г. Ижевск) имеет  $K_{ГР} = 1$ , поскольку при ремонте обеспечен доступ к каждому электронному компоненту.

## **Выводы**

В результате проведенного анализа на основе известного приема разбиения РЭА на конструктивные функциональные уровни установлено, что ремонтпригодность аппаратуры можно характеризовать новым показателем – глубиной ремонтпригодности, – что особенно важно для РЭА с повышенной стойкостью к ВВФ. Это позволяет получить дополнительный критерий оценки конкретных экземпляров РЭА с примерно одинаковым уровнем стойкости, но с различными конструктивными схемами защиты от ВВФ.

## **Благодарности и посвящения**

Настоящая статья посвящена 55-летию кафедры «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры» Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова, выпускником которой автор был в 1979 году, а также памяти доктора технических наук, профессора Петра Григорьевича Кузнецова.

Автор выражает благодарность младшему научному сотруднику ФТИ УрО РАН В. А. Колясеву за плодотворный обмен мнениями по вопросам особенностей создания и эксплуатации ударостойкой РЭА различного назначения.

## Список литературы

1. ГОСТ 26883–86. Внешние воздействующие факторы. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 10 с.
2. *Шевченко, В. А.* Автономный регистратор телеметрической информации / В. А. Шевченко // Вопросы оборонной техники. Серия 14 «Проектирование систем вооружения, боеприпасов и измерительных комплексов». – 2011. – Вып. 2. – С. 111–113.
3. *Кузьмин, Э. Н.* Обеспечение виброударостойкости оборудования и аппаратуры / Э. Н. Кузьмин. – Снежинск : Изд-во РФЯЦ–ВНИИТФ, 2003. – 320 с.
4. *Иванов, А. В.* Конструирование ударостойкой радиоэлектронной аппаратуры, выбор конструкции / А. В. Иванов, С. Л. Ильин // Проектирование и технология электронных средств. – 2006. – № 3. – С. 32–34.
5. Устройство для защиты от механических воздействий. Пат. РФ № 2302091 / Иванов А. В., Ильин С. Л. – № 2005125883/09; заявл. 15.08.2005; опубл. 27.06.2007. Бюл. № 18.
6. *Steinberg, D. S.* Some major structural dynamics-related failure modes and mechanisms in micro- and opto-electronic systems and dynamic stability of these system. Structural dynamics of electronic and photonic systems, p. 11, 2011.
7. *Иванов, А. В.* Защита бортовой РЭА от ударных воздействий большой интенсивности / А. В. Иванов, П. В. Хохлов, С. Л. Ильин, А. А. Пучкин и др. // Проектирование и технология электронных средств. – 2008. – № 2. – С. 18–25.
8. Способ защиты аппаратуры от ударных воздействий. Пат. РФ № 2385554 / Иванов А. В. [и др.]. – № 2008145347/09; заявл. 17.11.2008; опубл. 27.03.2010. Бюл. № 9.
9. *Елисеев, Д. П.* Обзор средств защиты инерциальных чувствительных элементов от инерционных воздействий. Публикации lib.znate.ru. Документы. [Электронный ресурс]. – URL: <http://lib.znate.ru/docs/index-106245.html> (дата обращения: 17.07.2015).
10. Электрооборудование. Пат. РФ № 91214 / Молин С. М., Колясев В. А., Захаров В. А. – № 2009126476/22; заявл. 10.07.2009; опубл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
11. ГОСТ 21623–76. Показатели для оценки ремонтпригодности. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2006. – 9 с.
12. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 30 с.
13. MIL-HDBK-472. Military Standardization Handbook. Maintainability Prediction / Department of Defense, Washington, D. C. 20360, May 24, 1966. – 176 p.
14. *Молин, С. М.* Линейка автономных удароустойчивых регистраторов для испытания сложных изделий машиностроения / С. М. Молин, С. В. Ленков // Вопросы оборонной техники. Серия 14 «Проектирование систем вооружения, боеприпасов и измерительных комплексов». – 2012. – Вып. 2. – С. 127–132.

## **New maintainability index of electronic equipment with high resistance to external influences**

**Abstract.** *The article gives an analysis of options for designs of electronic equipment providing protection from external influencing factors, to assess their suitability for repair. The paper also discussed existing indicators maintainability of products, concluded on the need to introduce a new indicator – the depth of maintainability – and the corresponding coefficient, there is an example of the use of the new indicator.*

**Keywords:** external influencing factor, indicators of maintainability, depth of maintainability.

Ю. А. Первякова, студентка

Е. В. Симкина, студентка

О. И. Уразманова, студентка

В. А. Глушков, канд. техн. наук, доц.

E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.com

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Получение электроэнергии из топливных элементов в сравнении с традиционными методами

*В данной статье рассматриваются способы выработки электроэнергии. На сегодняшний день на теплоэлектростанциях используются турбоагрегаты, для работы которых необходимы полезные ископаемые. Для сохранения ресурсов мы предлагаем альтернативный вариант в виде топливных элементов. Для наглядного представления об эффективности предложенного метода было проведено сравнение теоретического коэффициента полезного действия. В результате получили, что большей эффективностью в выработке электроэнергии обладает топливный элемент.*

**Ключевые слова:** электроэнергия, топливный элемент, турбоагрегат, коэффициент полезного действия.

### Введение

С каждым годом человечество все больше нуждается в электроэнергии. Как известно, ее получают с помощью переработки природных ресурсов (нефть, газ, уголь), и ни для кого не секрет, что данные ресурсы истощаются. В связи с этим появляется проблема нахождения альтернативного источника энергии. Одним из таких источников или методов получения электроэнергии является метод получения электроэнергии с помощью топливных элементов.

Топливный элемент – электрохимический преобразователь энергии, в котором за счет химической реакции распада водорода и кислорода происходит получение электроэнергии.

В состав данного элемента входят: два электрода (анод и катод), поверхность которых покрыта катализатором; электролит, способствующий переносу заряженных частиц от одного электрода к другому. Для возникновения химической реакции необходим кислород и топливо (водород).

Принцип работы топливного элемента заключается в химической реакции, происходящей между кислородом и водородом (рис. 1). Энергия реакции соединения этих элементов преобразуется в электричество, минуя многоступенчатые процессы, присущие паровым двигателям. За счет этого коэффициент полезного действия (КПД) топливного элемента может достигать 90 % [1–2].

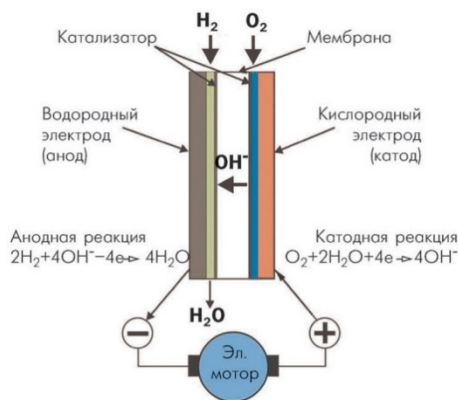


Рис. 1. Схема топливного элемента

На данный момент в теплоэлектростанциях для получения электроэнергии используются турбоагрегаты, состоящие из паровой турбины и электрогенератора (рис. 2). Принцип работы таких станций состоит в преобразовании энергии пара в механическую работу. Следует отметить, что такое преобразование требует прохождения множества этапов. Для получения электроэнергетики требуется большая емкость с водой, которую в процессе нагревают до определенной температуры. Пар, испарившийся от нагретой воды, приводит в движение лопасти турбины, которая в свою очередь начинает вращать генератор. Генератор вырабатывает ток.

Для наглядного представления об эффективности работы данных методов проведем сравнительный анализ коэффициента полезного действия (КПД). Произведем расчет максимального значения КПД электрохимического генератора с помощью законов термодинамики. Для этого воспользуемся формулой

$$\eta_{\text{эХГ}} = 1 + \frac{T \cdot \Delta S}{\Delta H}, \quad (1)$$

где  $T$  – температура протекания реакции;  $\Delta H$  – тепловой эффект реакции или изменение энергии Гиббса;  $\Delta S$  – приращение энтропии в ходе реакции.

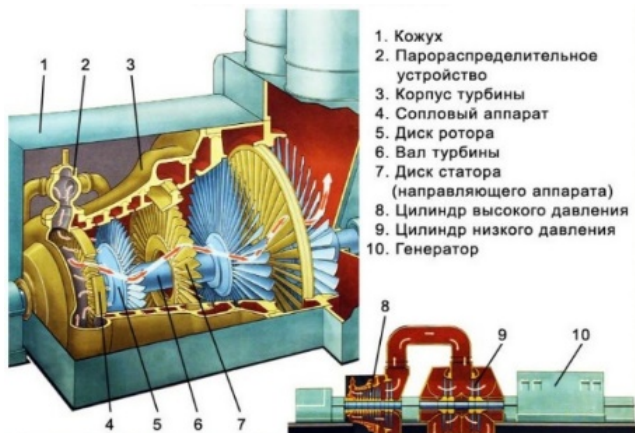
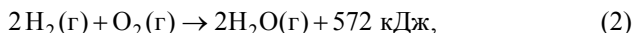


Рис. 2. Система запуска турбоагрегата

Для ее нахождения необходимо составить формулу реакции соединения водорода и кислорода:



$$S = 2S(\text{H}_2\text{O}) - 2S(\text{H}_2) - S(\text{O}_2), \quad (3)$$

$$\Delta S = 2 \cdot 69,96 - 2 \cdot 130,52 - 205,04 = -326,38.$$

Тогда [3, 4]:

$$\eta_{\text{энт}} = 1 + \frac{295 \text{ К} \cdot (-326,38) \text{ кДж} / \text{моль} \cdot \text{К}}{572 \text{ кДж}} = 83,1 \%$$

Перейдем к расчету КПД парогенератора, использующегося на теплоэлектростанциях. Поскольку процесс получения проходит в несколько этапов, нам необходимо вычислить тепловое КПД и КПД электрическое.

Вычислим тепловое КПД с помощью формулы цикла Карно (4). В реальных установках температура нагревателя для ТЭС примерно равна  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $873 \text{ К}$ ). Температура холодильника не может быть ниже



10 °С (283 К). Отсюда теоретический КПД тепловой машины мог бы составить

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}, \quad (4)$$

где  $T_1$  – температура холодильника;  $T_2$  – температура нагревателя.

$$\eta_{\text{теор}} = \frac{873 \text{ °К} - 283 \text{ °К}}{873 \text{ °К}} \cdot 100 \% = 67,6 \ %.$$

Необходимо заметить, что любая тепловая машина не может иметь КПД больше 67,6 %, т. к. в расчетах использовались предельные значения температур нагревателя и холодильника [6–7].

Электрическое КПД вычисляется по формуле (5), где  $N_3$  – электрическая мощность турбины, кВт;  $Q_{\text{ты}}$  – расход теплоты пара на турбоустановку, кДж/ч:

$$\eta_3 = \frac{3600 \cdot N_3}{Q_{\text{ты}}}, \quad (5)$$

$$\eta_3 = \frac{3600 \cdot 200 \cdot 10^6}{86 \cdot 10^{10}} = 83,7 \ %.$$

Получим суммарный КПД парогенератора:

$$\eta = 0,676 \cdot 0,837 = 56,5 \ %. \quad (6)$$

По сравнению с тепловой машиной можно выделить следующие достоинства и недостатки топливного элемента. Как было отмечено ранее, главным достоинством такого элемента является его высокий КПД, который достигается за счет малого количества этапов преобразования энергии. Ресурсы, используемые для получения электроэнергии, являются возобновляемыми и экологичными. Топливный элемент имеет достаточно простое строение, легок в использовании и долговечен. Что касается отрицательной стороны, то главным недостатком является высокая цена на водородные установки. Также не все могут обеспечить правильные условия хранения и доставки топлива. Да и само топливо, используемое в электрохимических установках, взрывоопасно [5].

Подведем итог. На сегодняшний день чаще всего для получения энергии используется переработка природных ресурсов. В качестве альтернативы возможно использование топливных элементов. Благо-

даря их высокому КПД, а также практически нескончаемым ресурсам, используемым в качестве исходного материала (кислород, водород), они достойны для замены нынешних методов получения электроэнергии. Однако негативной стороной топливных элементов является их дороговизна, поэтому необходимо искать более дешевые пути для их реализации.

### Список литературы

1. Юсти, Э. Топливные элементы / Э. Юсти, А. Винзель. – М. : Мир, 1964.
2. Лабейш, В. Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие. – СПб. : СЗГУ, 2003 – 78 с.
3. Коровин, Н. В. Химические источники тока : справочник / под ред. Н. В. Коровина, А. М. Скундина. – М. : Изд. дом МЭИ, 2003. – 740 с.
4. Рыжков, В. Я. Теловые электрические станции : учебник для вузов / под ред. Г. Я. Гиршфельда. – 3-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
5. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М. : Изд. дом МЭИ, 2002. – 584 с.
6. Яковлев, К. П. Краткий физико-технический справочник / под ред. К. П. Яковлева. – Т. 1. – М. : Физматлит, 1960. – С. 341, 346.
7. Фортвов, В. Е. Возобновляемые источники энергии для энергоснабжения потребителей в России / В. Е. Фортвов, О. С. Поппель // Энергетический вестник. – 2010. – № 1(8). – С. 9–29.

## Fuel cell-based electrical energy generation in comparison to the conventional ways

**Abstract.** *The paper considers two major approaches to electricity production: turbine-based thermoelectric plants and fuel cells. The electric generation efficiency of both methods is analyzed basing on fundamental physical and chemical principles of their operation.*

**Keywords:** electricity generation, fuel cell, turbine, efficiency.

*А. Ю. Печенкин*, канд. техн. наук, доц.

*Е. Ю. Семечкина*, магистрант

E-mail: kra\_dept@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Реализация подсистемы видеообработки на SOC

*В статье рассмотрены варианты реализации алгоритма поиска глобального вектора движения по видеопотоку реального времени. Произведено сравнение реализаций алгоритмов на PC-совместимой платформе, программная реализация алгоритма на базе процессора архитектуры ARM Cortex A9, NVIDIA Tegra K1, аппаратная реализация алгоритма на базе ПЛИС ALTERA. Показана высокая эффективность аппаратной реализации алгоритмов.*

**Ключевые слова:** видеообработка в реальном времени, фильтр Собеля, Nvidia Tegra, ARM Cortex A9.

В настоящее время системы видеообработки активно внедряются во многих областях и различных сферах жизнедеятельности. Это системы технического зрения на производстве, системы стабилизации видео при кино-, аэро-, фотосъемке, системы сжатия видеoinформации, различные приложения для мобильных устройств. Но потребности в обработке видеoinформации стремительно растут, а темпы роста систем обработки заметно замедлились. Очевидно, что за счет частоты процессора – обработчика информации значительного увеличения скорости обработки не получить, поскольку уже несколько лет частота доступных процессоров держится на уровне 2–3 ГГц.

Нам необходимо было реализовать встраиваемую систему обработки, позволяющую вычислять по потоку HD-видеокадров (720p) глобальный вектор движения в реальном времени.

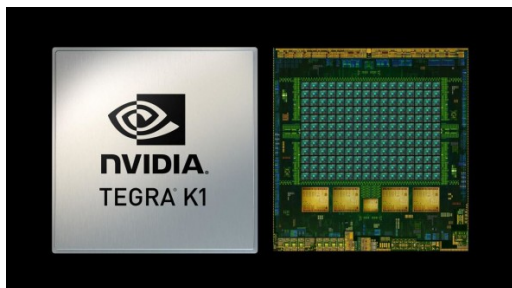
Были рассмотрены варианты:

1. Реализация системы на базе PC-совместимой платформы.
2. Реализация системы на базе встраиваемого чипа NVIDIA на базе технологии CUDA.
3. Реализация системы на базе SOC FPGA.

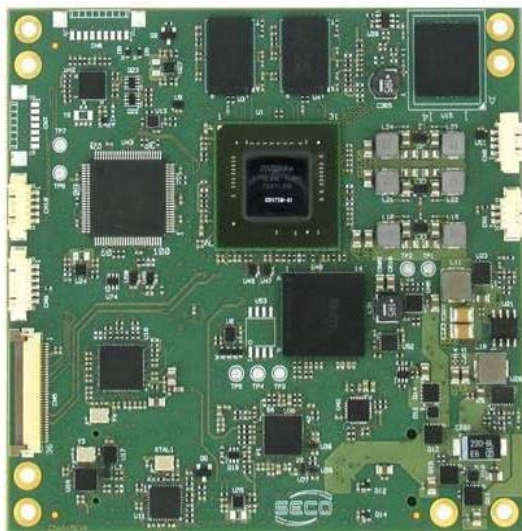
Первый вариант удобен в реализации, поскольку имеются развитые средства написания и отладки программного обеспечения, большая библиотека компонентов, позволяющих распараллелить вычисления

на многоядерных процессорах. Однако значительное потребление всей системы и габариты не позволили выбрать этот вариант. Кроме того, в этом случае неизбежно использование операционной системы, которая, в свою очередь, накладывает ограничения на время готовности системы после подачи питания, что в нашем случае являлось неприемлемым.

Второй вариант позволяет реализовать все необходимые функции на базе процессоров семейства TEGRA (рис. 1), например [1], но требует значительной переработки математической части алгоритмов для адаптации под параллельные вычисления на 192 CUDA-процессорах.



*Рис. 1. Процессор NVIDIA TEGRA K1*



*Рис. 2. Демонстрационная плата на базе процессора NVIDIA TEGRA K1*

Как сообщили официальные представители NVIDIA, компания «Элтех» [2], NVIDIA не поставляет отдельно процессоры даже в количествах порядка 100...1000 шт. Для таких случаев предлагается использование готовых плат (рис. 2), которые по габаритам не укладывались в требуемые размеры.

Исходя из этого был выбран вариант реализации на базе SOC фирмы Altera семейства CycloneV. SOC имеет в своем составе двухядерный процессор Cortex A9, FPGA – часть и различные периферийные устройства.

Программный прототип системы обработки информации был реализован на PC. На этом прототипе были выявлены наиболее «тяжелые» участки алгоритма. Как и предполагалось, это алгоритм, выделяющий точки на изображении, по смещениям которых оценивается вектор глобального движения. Он состоит из следующих частей:

- фильтр Собеля для горизонтальных границ ( $Sx$ );
- фильтр собеля для вертикальных границ ( $Sy$ );
- медианный фильтр компоненты  $Sx^2$ ;
- медианный фильтр компоненты  $Sy^2$ ;
- медианный фильтр компоненты  $Sx*Sy$ .

Сначала алгоритм был реализован полностью программно, на базе одного ядра встроенного процессора Cortex A9. Время выполнения только этой части алгоритма для одного кадра составило 380 мс. Очевидно, что для задачи вычисления векторов движения в реальном времени это не подходит. Поэтому все упомянутые фильтры были реализованы на FPGA-части и распределенной памяти. В результате время прохода всеми фильтрами по одному кадру формата 720p составило 2,5 мс. Сами фильтры при этом заняли около 10 % FPGA части и около 15 % распределенной памяти чипа 5CSEMA5F31.

Таким образом, переход от программной реализации к аппаратной позволил сократить время выполнения алгоритма более чем в 150 раз и при этом полностью разгрузить процессор для реализации более высокоуровневых алгоритмов.

### Список литературы

1. NVIDIA Tegra K1: Невероятно усовершенствованный [Электронный ресурс] // NVIDIA [Сайт]. – URL: <http://www.nvidia.ru/object/tegra-k1-processor-ru.html> (дата обращения: 21.11.2015).
2. ЭЛТЕХ [Сайт]. – URL: <http://www.eltech.spb.ru> (дата обращения: 20.11.2015).

## **Implementation of the video processing subsystem on the SOC**

**Abstract.** *The article describes various versions of the global motion vector real-time video stream-based determination algorithms. The following implementations of the algorithms are considered: PC-based, ARM Cortex A9 processor and NVIDIA Tegra K1-based software implementations, ALTERA FPGA-based hardware implementation. High efficiency of the hardware implementation is shown.*

**Keywords:** real-time video processing, Sobel filter, Nvidia Tegra, ARM Cortex A9.

*А. Ю. Печенкин*, канд. техн. наук, доц.

*В. П. Тарануха*, канд. техн. наук, доц.

E-mail: kra\_dept@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Реализация сложных ресурсоемких алгоритмов на базе гибридов CPU-FPGA**

*В статье рассмотрены принципы реализации ресурсоемких алгоритмов. Предложен вариант распределения алгоритмов между программной и аппаратной реализацией. Произведен анализ возможностей (по производительности) процессоров для встраиваемых систем. Показана высокая эффективность аппаратной реализации алгоритмов. Предложены варианты развития гибридных систем CPU-FPGA.*

**Ключевые слова:** FPGA, системы на кристалле, аппаратный ускоритель, цифровая обработка сигналов

В наш век информационных технологий самый ценный ресурс – это информация. Все большие требования предъявляются к системам обработки исходных данных – нужно обрабатывать больше и быстрее. Как показала история, зачастую системы сбора и обработки данных с улучшенными количественными характеристиками позволяют решать задачи принципиально другим способом на качественно новом уровне. Например, с появлением высокоскоростных АЦП и цифровых вычислителей, позволяющих за короткое время делать быстрое преобразование Фурье, стало возможным появление цифрового телевидения, модемов для высокоскоростной передачи данных и т. д. Причем характеристики новых систем позволяют достичь результатов, которые было невозможно получить с использованием прежних принципов.

Очень большой объем обрабатываемых данных приходится на «первичную» информацию, например, оцифрованный звук, пиксели кадра видеопотока, оцифрованный выход промежуточной или несущей частоты эфирного приемника. Алгоритмы обработки таких данных достаточно просты – это фильтры. Под фильтрами можно подразумевать как классические фильтры  $n$ -го порядка, так и более сложные преобразования – например, преобразование Лапласа, преобразование Собеля, оператор Шарра, Робертса и другие. Однако, несмотря на про-

стоту фильтров «первичных» данных, ввиду большого количества последних, требуется огромная производительность вычислительной системы для реализации, казалось бы, простых алгоритмов. Поэтому для реализации простых, на первый взгляд, функций, алгоритмы которых давно формализованы – например, стабилизация изображения, поиск, классификация и выделение объектов изображения, не хватает производительности современных 4- и даже 8-ядерных современных процессоров, работающих на частотах порядка 2–3 ГГц.

Одно из решений обработки больших объемов данных – это CUDA-процессоры [1], имеющие в своем составе порядка ста независимых процессоров с небольшой системой команд. В ряде случаев такое решение позволяет ускорить работу алгоритма во столько раз, сколько маленьких процессоров имеется в чипе. Примером могут быть фильтры для кадров видеопотока. Большинство алгоритмов первичной обработки производят обработку маленькими блоками и каждый блок можно обрабатывать независимо друг от друга, параллельно. Но для реализации даже небольших конвейеров такая архитектура не подходит. Если рассматривать, например, простой многоступенчатый фильтр – каждая следующая ступень не может начать считать, пока не получит результаты с предыдущей ступени.

Универсальным, на наш взгляд, в отношении обработки данных является гибридный процессор – программируемая вентильная матрица (FPGA). FPGA позволяет на высокой скорости реализовать и параллельные вычисления, и конвейерные. Ничто, кстати, не мешает организовать и несколько параллельных конвейеров. Процессор может быть просто переключателем потоков данных, пропуская их то через один конвейер, то через другой, а может выполнять, к примеру, сложные алгоритмы с множеством ветвлений. В большинстве случаев для встраиваемых систем такой гибридный будет превосходить по производительности «топовые» процессоры настольных компьютеров.

В качестве примера в таблице приведем некоторые цифры, полученные при реализации алгоритма стабилизации изображения на гибридной платформе Cyclone V.

Поскольку реализован конвейер, то вычисление оператора Собеля и медианного фильтра в FPGA занимают одно и то же время, как по отдельности, так и вместе.

Видно, что процессоры встраиваемых систем по производительности значительно уступают процессорам настольных ПК, но тем не менее они отлично справляются со сложными алгоритмами с множеством ветвлений (решение систем уравнений и сортировка). Обработка же первичных данных на FPGA значительно быстрее даже в сравнении



с достаточно мощным процессором настольного ПК, даже без учета возможности распараллеливания.

| Операция<br>(характеристика)                        | Выполнение<br>на PC<br>(2,4 ГГц,<br>Core i7,<br>8 ГБ ОЗУ) | Выполнение<br>на процессоре<br>ARM Cortex-A9<br>(из состава гибрида<br>CPU-FPGA) | Выполнение на<br>специализированном<br>аппаратном конвейере,<br>реализованном<br>на FPGA части гибрида |
|---|---|--|--|
| FPS   | 15  | 1,3  | –  |
| Фильтр Собеля                                       | 10 мс   | 152 мс   | 2,5 мс   |
| Медианный фильтр                                    | 15 мс   | 228 мс   |  |
| Корреляция  | 4 мс  | 55 мс  | 2 мкс  |
| Решение системы<br>уравнений со 180<br>неизвестными | 12 мкс  | 178 мкс  | –  |
| Сортировка массива<br>из 8000 элементов             | 0,7 мс  | 7,5 мс   | 120 мкс  |

Общий принцип построения сложных систем обработки данных, исходя из этого, можно сформировать так: простые алгоритмы обработки первичных данных надо реализовывать на FPGA, а вторичные данные, а также интерфейсную часть – на встроенном процессоре.

Даже при использовании доступных аппаратных средств такой принцип позволяет реализовывать сложную обработку данных, которую часто невозможно реализовать ни на настольных ПК, ни на DSP-процессорах. При этом, кроме возможности реализации, получаем значительный выигрыш в потреблении энергии системы и в габаритах.

Эффективность такого принципа подтверждается, например, тем, что компания Intel выпускает и совершенствует гибридные системы CPU-FPGA [2].

Можно предположить, что дальнейшим развитием скоростной обработки данных будет встраивание в среду, например Visual Studio, библиотек и IP-ядер для реализации различных функций на FPGA-части гибрида, а в совокупности с мощными процессорами Intel гибриды позволят в десятки и даже сотни раз ускорить работу алгоритмов по сравнению с «топовыми» процессорами настольных компьютеров.

Одним из вариантов развития гибридных систем обработки данных может быть реализация «динамических акселераторов», работающих по такому принципу. При работе программы производится фоновая оценка «нагруженности» участков кода, т. е. какие участки кода выполняются больше всего по времени. Такая оценка уже реализована во многих средах разработки программного обеспечения для DSP [3]. Затем по алгоритму производится формирование аппаратного ускорителя.

теля для этого участка кода. Такая задача уже тоже решена [4]. После этого конфигурируется FPGA синтезированным ускорителем и поток данных для обработки переключается на FPGA, в обход процессора. Таким образом, процессор разгружается от рутинных операций, занимающих больше всего времени. Для пользователя же это будет выглядеть так: компьютер некоторое время «привыкает» к алгоритмам (будь это игры, вычисления или другие задачи), а затем программа ускоряется автоматически в десятки – сотни раз. Если задачи меняются – опять некоторое время «привыкание», компьютер замедлит работу на время анализа и затем автоматически ускорится в разы.

### Список литературы

1. Параллельные вычисления CUDA [Электронный ресурс] // NVIDIA [Сайт]. – URL: <http://www.nvidia.ru/object/cuda-parallel-computing-ru.html> (дата обращения: 01.04.2016).
2. Halfhill, T. R. Intel's Hybrid CPU-FPGA [Электронный ресурс] // Embedded Intel Solutions [Сайт]. – URL: <http://www.embeddedintel.com/commentary.php?article=2143> (дата обращения: 01.04.2016).
3. Бачинин, Е. Профилирование embedded кода средствами Code Composer Studio v.3.3 [Электронный ресурс] // DSP Embedded Design [Сайт]. – Дата размещения: 17.01.2013. – URL: <http://engineer74blog.blogspot.ru/2013/01/embedded-code-composer-studio-v33.html> (дата обращения: 01.04.2016).
4. C2H Compiler Mandelbrot Design Example [Электронный ресурс] // ALTERA [Сайт]. – URL: <https://www.altera.com/support/support-resources/design-examples/intellectual-property/embedded/nios-ii/exm-c2h-mandelbrot.html> (дата обращения: 01.04.2016).

## Implementation of complex resource-intensive algorithms on the basis of the hybrid CPU-FPGA

**Abstract.** *The article considers the fundamentals of implementation of resource-intensive algorithms. A variant of distribution of algorithms over the software and hardware implementations is proposed. Embedded system processors performance capabilities are analyzed. High efficiency of the hardware implementation is shown. CPU-FPGA hybrid systems ways of development are proposed.*

**Keywords:** FPGA, system on chip, hardware accelerator, signal processing.

Ю. Г. Подкин, д-р техн. наук, проф.

Т. Г. Чикуров, канд. техн. наук, доц.

E-mail: kivr@spi.mn

Сарапульский политехнический институт (филиал)  
Ижевского государственного технического университета  
имени М. Т. Калашникова

## Проектирование преобразователей энергии импульсных пиротехнических источников тока

***Аннотация.** Созданы электротехническая и математические модели импульсного ПИТ и емкостного НЭЭ. Сформированы основные критерии оптимизации процессов согласования ПИТ и НЭЭ. Определены предельные эксплуатационные характеристики НЭЭ и найдены критерии оценки возможности их использования в системах накопления энергии от ПИТ и моделирования функций взаимосвязи и оптимизации согласования. Предложен алгоритм системотехнического проектирования ГИП, обеспечивающий оптимизацию схемотехнической реализации.*

**Ключевые слова:** пиротехнический источник тока, емкостный накопитель электрической энергии, согласование источников, системотехническое проектирование, надежность элементов.

### Введение

Современное приборостроение постоянно повышает требования к диапазону рабочих температур. В этой связи большой интерес у потребителей вызывает возможность применения импульсных, в частности – пиротехнических источников тока (ПИТ), для которых расширенный температурный диапазон – естественная рабочая область. Однако из-за высокой скорости протекания процессов сгорания продолжительность их работы составляет единицы – сотни секунд, а выходное напряжение меняется в широком динамическом диапазоне. Поэтому для обеспечения постоянства рабочего напряжения таких источников их нагружают на емкостные накопители электрической энергии (НЭЭ).

Комплекс ПИТ-НЭЭ, по сути, представляет собой импульсный конвертор типа DC-DC. Длительность непрерывной работы такого преобразователя зависит от электрических емкостей, применяемых в НЭЭ. Как правило, эти емкости выбирают в диапазоне от единиц до

сотен фарад. Поэтому при разработке автономных и резервных гибридных источников питания (ГИП) все шире используются суперконденсаторы (СК) на основе двойного электрического слоя (ДЭС) разнополярных ионов. Надежность ГИП во многом определяется предельными возможностями единичных суперконденсаторов – ЕСК, особенностями их работы в НЭЭ, конструктивным оформлением и используемыми материалами.

Эксплуатационные свойства ГИП зависят от энергетических характеристик и параметров ПИТ, зарядно-разрядных характеристик ЕСК и НЭЭ на их основе, предельных значений: электрической емкости  $C$ ; эквивалентного последовательного сопротивления на переменном токе частотой 1 кГц ЭПС 1кГц; максимального предельного перенапряжения  $U_{\text{макс}}$ ; максимального значения начального мгновенного зарядного тока  $I_{\text{зар.нач}}$ ; скорости саморазряда; минимального времени заряда  $t_{\text{мин}}$ . Кроме того, важную роль играет разбаланс импеданса НЭЭ и возможности оптимизации создаваемых конверторов.

### **1. Основные свойства импульсных пиротехнических источников тока и емкостных накопительных элементов**

Пиротехнические источники электрического тока относятся к устройствам, обеспечивающим преобразование химической энергии экзотермических композиций в электрическую. Высокотемпературные гальванические элементы (ВГЭ), как правило, состоят из беззазорно соединенных между собой пластинчатых пиротехнических электродов, снабженных токовыми выводами [1–3]. Качественный состав электродов [1] представляет собой композицию из циркония (горючее), оксида меди или бария хромовокислого (окислитель). Электролит в виде фторида лития (или смеси фторида лития с фторидами щелочноземельных металлов – смесь в произвольных сочетаниях при рабочей температуре) совместно с продуктами первичного горения обеспечивает ионную проводимость конденсированных продуктов сгорания анода и катода и возможность протекания электрохимического процесса между электродами. В качестве связующего используют асбест.

Для обеспечения устойчивой работы анод должен содержать избыток горючего, а катод – избыток окислителя. Элементарная ячейка источника тока (рис. 1) с напряжением разомкнутой цепи 1,7 В состоит из пластинчатых анода 1 (пористого анодного пиротехнического заряда) и катода 2 (пористого катодного пиротехнического заряда), соединенных между собой непосредственно, без зазора [1].

Функционирует ВГЭ следующим образом. От инициирующего импульса одновременно воспламеняются и сгорают пиротехнические

композиции анода 1 и катода 2. При этом плавится электролит, заполняющий поры продуктов сгорания электродных зарядов. Расплав электролита обеспечивает ионный контакт электродов 1 и 2 друг с другом и возможность протекания электрохимического процесса. Практически одновременно начинается процесс генерирования электрического тока – перенос электронов по внешней цепи от анода 1 через токовывод 5, сопротивление (нагрузку) 4 и токовывод 3 к катоду 2. Батарея из четырех источников тока генерирует ток больше 0,5 А на нагрузке 4 Ом (рабочий ток) в течение  $0,40 \pm 0,05$  с. Общая длительность генерирования тока составляет 4–8 с.

Основным элементом конструкции суперконденсатора служит элементарная двухэлектродная ячейка, приведенная на рис. 2. Она образована анодом и катодом, пространство между ними заполнено электролитом. На границах электрод – электролит образуется два последовательно соединенных через электролит, двойных электрических слоя (ДЭС), а накопленный заряд снимается с электрических слоев в материале электродов. В результате емкость ячейки СК определяется наименьшей из емкостей ДЭС, а допустимое рабочее напряжение равно напряжению разложения электролита, а не удвоенному рабочему напряжению слоев, что соответствовало бы последовательному соединению двух конденсаторов [4–7].

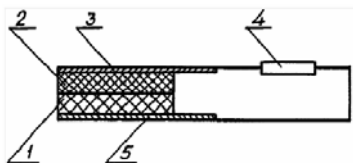


Рис. 1. Устройство высокотемпературного гальванического элемента (ВГЭ)



Рис. 2. Элемент структуры ЕСК

В качестве электродов СК обычно используют углеродные материалы: активированный уголь, углеродную ткань, стеклоуглерод, углеродный аэрогель, графит и т. д., межэлектродное пространство заполняют водным раствором простых устойчивых ионогенных соединений ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaF}$  и др.) или органическим (водонерастворимым) электролитом. Под действием зарядного напряжения анионы движутся к положительному электроду, катионы – к отрицательному и вблизи поверхностей каждого из электродов формируются ДЭС. Величина накопленного заряда определяется прило-

женной к электродам разностью потенциалов. При оценке емкости СК обычно ориентируются на формулу

$$C = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d},$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м, относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  определяется типов электролита;  $S$  – общая площадь поверхности электрода;  $d$  – эффективная толщина ДЭС. Если принять, что толщина двойного электрического слоя составляет от 1 до  $5 \dots 10$  нм, то при гладких электродах поверхностная плотность емкости не превысит  $10^{-5}$  Ф/см<sup>2</sup>. Для радикального повышения емкости площадь электродов должна быть порядка тысяч м<sup>2</sup>. Причем такую площадь следует локализовать в микрообъеме. Поэтому на практике в качестве электродов используют нанопористые углеродные материалы с удельной поверхностью до  $1000 \dots 3000$  м<sup>2</sup>/г. Это позволяет создавать ДСК и НЭЭ на их основе емкостью  $1 \dots 10\,000$  Ф.

Возможность использования и надежность СК и НЭЭ определяются в первую очередь воспроизводимостью номинального значения емкости  $C_{\text{ном}}$ , величиной пробивного напряжения  $U_{\text{пр}}$ , предельным значением зарядного тока и количеством циклов заряда-разряда. Циклируемость СК в нормальных условиях эксплуатации достигает  $10^5$ – $10^6$  циклов, а основные электрические показатели задаются параметрами ДЭС, структурой электродов, составом электролита. Толщина ДЭС  $d$  зависит от концентрации, размеров ионов в электролите, а напряженность электрического поля в ДЭС может превышать  $10^7$  В/см. Поэтому для СК с водными электролитами номинальное напряжение обычно не превышает 1 В. С органическими электролитами его удается увеличить до  $2,5 \dots 2,7$  В. Между электродами устанавливают сепаратор, проницаемый для ионов водного или жидкого органического электролита [4].

## 2. Исследование предельных характеристик СК и НЭЭ

На рис. 3 приведены переходные характеристики 8-элементного ПИТ: ЭДС (XX), В – снятая в режиме холостого хода; ЭДС (2 Ом), В – нагруженного на 2 Ом и токовая характеристика нагруженного на 2 Ом ПИТ. На рис. 4 – хронограмма внутреннего сопротивления (экспериментальные точки) и ее математическая модель.

Из рис. 3 следует, что активный режим работы ПИТ составляет примерно три декады от 0,03 с до 6 с. В этом временном интервале выходная ЭДС представляет трапецеидальный импульс с фронтальной скоростью 181 В/с или 65 дБ/дек. Скорость среза 9,333 В/с или

39 дБ/дек. Время задержки 0,03 с. Для математического моделирования такого импульса целесообразно использовать кусочно-показательную аппроксимацию. Наиболее точно уравнение переходной характеристики в режиме холостого хода можно представить ступенчатой функцией:

$$E(t) := \begin{cases} 80 \cdot (0,97 - e^{-t/\tau_1}) & \text{при } 0,03 < t < 0,19, \\ 39 + 1,5 \cdot (0,7 - 6 \cdot e^{-t/\tau_1}) & \text{при } 0,19 < t < 0,45, \\ 39 - 1,5 \cdot (t - \tau_1)/\tau_1 & \text{при } 0,45 < t < 6, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (1)$$

где параметры  $\tau_1 = 0,3$  с и  $\tau_2 = 0,07$  с имеют смысл постоянных времени.

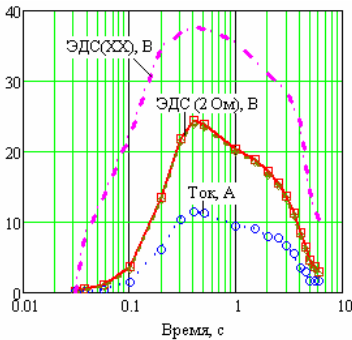


Рис. 3. Переходные характеристики ПИТ

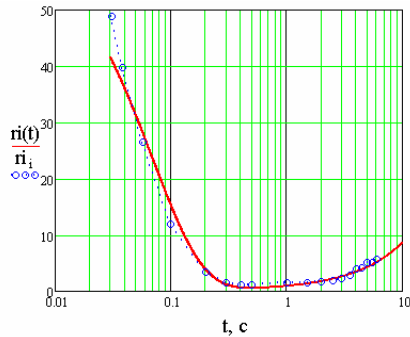


Рис. 4. Переходные характеристики внутреннего сопротивления ПИТ

Под нагрузкой меняются только масштабные коэффициенты. Средневзвешенная погрешность аппроксимации не превышает 3 %, что обеспечивает достоверное представление переходной и импульсной характеристики.

Из рис. 4 следует, что в процессе сгорания активной массы внутреннее сопротивление ПИТ изменяется в широких пределах, что приводит к варьированию условий передачи энергии накопителю. Наивысший КПД работы ПИТ обеспечивается в диапазоне времен 0,3...1 с.

Анализ показал, что переходная характеристика напряжения на СК в процессе принудительного заряда моделируется выражением

$$u_3 = \frac{2Ir(1+t/\tau)}{1+rG_{cp}(1+t/\tau)}, \quad (3)$$

где  $G_{cp}$  – проводимость саморазряда.

Переходная характеристика в режиме принудительного разряда постоянным током описывается уравнением

$$u_p = U_{ном} - \frac{2Ir(1+t/\tau)}{1+rG_{cp}(1+t/\tau)}. \quad (4)$$

На рис. 5 приведены зарядно-разрядные характеристики ЕСК номиналом 2,5 В × 6 Ф. Цифрами обозначены: 1 – эксперимент; 2 – расчет по формулам (3), (4); 3 – аппроксимация зарядной кривой по формуле (3) с параметрами  $\tau = 0,012$  с,  $G_{cp} = 8$  мСм.

Поскольку для проектирования НЭЭ следует изучить предельные возможности СК, проведено исследование влияния перенапряжений и перегрузок по току на основные параметры СК.

Установлено, что для СК с номинальным напряжением 2,5 В возможно кратковременное увеличение напряжения до 4 В, т. е. на 60 %. Но при этом возникают необратимые изменения характеристик и параметров. Допустимо заряжать СК емкостью 6...10 Ф токами до 50 А без ухудшения их параметров (рис. 6). Сопровождающие процесс заряда кратковременные перегрузки по напряжению и перегреву обратимы. Это позволяет многократно использовать скоростные режимы заряда СК. Для обеспечения заряда СК емкостью 10 Ф до номинального напряжения 2,5 В за две-три секунды требуется постоянный зарядный ток не менее 10А.

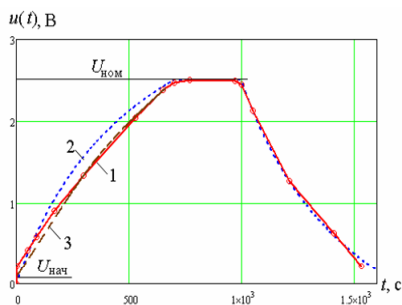


Рис. 5. Зарядно-разрядные характеристики ЕСК

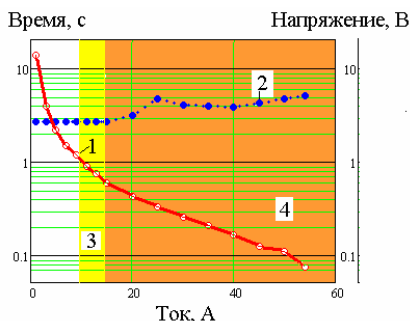


Рис. 6. Скоростная (1) и перегрузочная (2) характеристики по напряжению; нагрев до 30...40 °С (3); нагрев до 40...50 °С (4)



Разрушение НЭЭ происходит при перенапряжении на СК свыше 5,6 В. При этом скорость возрастания напряжения незначительно снижается и начинается интенсивный разогрев конденсаторов. В результате примерно через 0,4 секунды, происходит взрыв и воспламенение. Следовательно, при проектировании источников тока должна быть предусмотрена система поэлементного контроля напряжения на каждом СК и управление на основе критериев допустимости предельного режима.

Установлено, что деградационные процессы, инициированные перенапряжениями, сопровождаются перераспределением постоянных времени из-за структурных изменений в СК. Если в номинальном режиме доминирует основная структура, характеризуемая постоянной времени  $\tau_1 = 10^5$  с, а совокупное влияние мелкоструктурных элементов не превышает 20 %, то под воздействия перенапряжения внутренняя структура нарушается. При перенапряжении 4 В наступает паритет между вкладами основной структуры и мелкоструктурных элементов, а при перенапряжении 4,25 В вклады деструктурированных элементов начинают доминировать. По-видимому, разрушение структуры сопровождается образованием проводящих перемычек в нанопорах (рис. 2), что отражается уменьшением емкости, возрастанием парциальных сопротивлений и разрядного тока. Предложена методика исследования структурных изменений в СК и НЭЭ, которая может использоваться при синтезе новых типов суперконденсаторов.

Исследование и моделирование характеристик НЭЭ в импульсном режиме проводились для двух типов НЭЭ на базе СК (фирмы NESSCAP). Первый тип накопителя выполнен объединением четырех ЕСК 2,5 В × 6 Ф с целью создания НЭЭ 10 В × 1,5 Ф (4 × 2,5 В × 6 Ф). Расчетное значение перенапряжения для СК принято равным 3,75 В, соответственно для НЭЭ – 15 В. Второй тип НЭЭ выполнен объединением восьми СК 2,5 В × 10 Ф с целью создания НЭЭ 20 В × 1,25 Ф (8 × 2,5 В × 10 Ф). Расчетное значение перенапряжения для НЭЭ – 32 В. При испытаниях номинальное напряжение принималось равным 2,7 В, соответственно, номинальное напряжение для первого НЭЭ 10,8 В, для второго – 21,6 В. Установлено, что зарядно-разрядные процессы удовлетворительно описываются уравнениями, полученными для СК, с учетом структуры НЭЭ. Доказана применимость развитой в работе теории саморазряда и к НЭЭ.

Исследование импедансных характеристик НЭЭ показало, что они соответствуют характеристикам ЕСК. В полосе частот от 0,017 до 170 Гц НЭЭ следует рассматривать как частотозависимый двухполосник, сопротивление которого  $Z(f)$  изменяется от 1,56 до 0,016 Ом,

а фазовый сдвиг – от минус 89,4 до минус 0,58 градуса. На частотах ниже 0,017 Гц НЭЭ можно рассматривать как идеализированный конденсатор. На частотах выше 560 Гц эквивалентное сопротивление конденсатора в основном активное. Таким образом, при проведении исследований СК и НЭЭ и использовании СК в аппаратуре следует учитывать эти ограничения.

При формировании НЭЭ за счет неидентичности СК относительная погрешность из-за разбалансировки составляет  $\delta_z = 2,7\%$ . За пределами полосы неинвариантности  $Z_{\sigma 1}(f)$  погрешность разбалансировки не превышает на низких частотах погрешности емкости НЭЭ, а на высоких – погрешности сопротивления. Уровень разбалансировки оказывает на импедансные характеристики НЭЭ влияние, не превышающее нормированные на СК погрешности. Однако эффект разбаланса влияет на накопительные свойства НЭЭ. Это следует учитывать при планировании использования НЭЭ в качестве элементов электронных схем.

### 3. Алгоритмизация системотехнического проектирования ГИП

Важное значение при проектировании преобразователей энергии импульсных пиротехнических источников тока имеют процессы согласования ПИТ и НЭЭ. Классический подход к этой проблеме заключается в поиске условий, при которых в нагрузку поступает *максимально возможная мощность*. Известно, что это требование выполняется только при сопротивлении нагрузки  $r = r_i$ , удается достичь компромисса [8]. Поэтому равенство  $r = r_i$  считать *условием* или *критерием согласования по мощности*. При работе источника на комплексную нагрузку потребуются нейтрализация реактивной составляющей и последующее согласование по активной составляющей.

Однако при  $r_i = r$  на внутреннем сопротивлении источника выделяется такая же мощность, как и в нагрузке. В силовых цепях эта мощность может достигать сотен ватт и даже киловатт. Причем такую мощность источник своим внутренним сопротивлением преобразует в тепло, что не рационально и может приводить к тепловым перегрузкам. Поэтому для повышения эффективности связки источник – нагрузка в силовых цепях требование согласования по мощности часто заменяют требованием согласования по КПД. А это возможно только при уменьшении внутреннего сопротивления генератора, в пределе до нуля.

Пиротехнические источники тока относятся к импульсным источникам, т. е. формально, рассматривая одиночные импульсы как переменные токи с неограниченным спектром, могут быть отнесены к источникам переменного тока. Генерируемая импульсным источником ЭДС в грубом приближении может имитироваться прямоугольным

импульсом. По фронту этого импульса начинается заряд СК НЭЭ, а по срезу – разряд. Но поскольку в импульсных ИТ процессы активации, выхода на устойчивый режим и деградации растянуты во времени, форма генерируемых импульсов оказывается довольно сложной функцией времени (1).

Реакция НЭЭ на импульс ЭДС произвольной формы значительно сложнее, чем традиционно рассматриваемые виды отклика. Она определяется конкретными характеристиками генерационного процесса, электрическими параметрами НЭЭ, которые в свою очередь связаны с индивидуальными параметрами СК. Ее определение можно рассматривать как основную теоретическую задачу, требующую решения в рамках системотехнического проектирования. Именно анализ переходных процессов при возбуждении ПИТ должен быть основой для оптимизации схемотехнической реализации ГИП. Обобщая приведенные сведения, можно полагать, что оптимален следующий алгоритм системотехнического проектирования ГИП на основе сопряжения ПИТ и НЭЭ:

- 1) выбор пиротехнических источников тока, удовлетворяющих требованиям ТЗ на проводимое исследование;
- 2) измерение электрических параметров и синтез эквивалентной схемы ПИТ;
- 3) разработка математической модели ПИТ;
- 4) выбор типов НЭЭ и единичных суперконденсаторов (ЕСК), отвечающих требованиям технического задания;
- 5) измерение электрических параметров СК и накопителей электрической энергии с использованием имеющихся методик;
- 6) разработка математической модели зарядно-разрядных и импедансных характеристик НЭЭ;
- 7) исследование влияния разбаланса на импеданс НЭЭ;
- 8) исследование процессов согласования ПИТ и НЭЭ;
- 9) разработка рекомендаций по оптимизации взаимодействия ПИТ и НЭЭ в импульсном режиме.

### **Заключение**

На основе теоретического анализа и экспериментальных данных созданы электротехническая и математические модели импульсного ПИТ и емкостного НЭЭ. Систематизированы требования к проектированию ГИП и на этой основе сформированы основные критерии оптимизации процессов согласования ПИТ и НЭЭ.

Анализ результатов исследования зарядно-разрядных характеристик НЭЭ и особенности влияния на них импульсного перенапряженного режима дало возможность определить предельные эксплуатаци-

онные характеристики НЭЭ и найти критерии оценки возможности их использования в системах накопления энергии от ПИТ и моделирования функций взаимосвязи и оптимизации согласования.

Предложен алгоритм системотехнического проектирования ГИП, обеспечивающий оптимизацию схемотехнической реализации.

### Список литературы

1. *Вареных, Н. М.* Пиротехнический источник тока. Патент 2320053 RU МПК Н01М 4/66 (2006.01), Н01М 6/36 (2006.01) / Вареных Н. М., Емельянов В. Н., Просянюк В. В., Суворов И. С. Оpubл.: 2008.03.20.

2. *Dekel D., Laser D.* Thermal batteries using cathode-precursor pyrotechnic pellets. US 2007292748 A1. Оpubл. 20.12.2007. – URL: <http://www.google.com/patents/US20070292748> (дата обращения: 22.05.2016).

3. *Daoud, S.* Thermal battery. WO 2003088379 A2. Оpubл. 23.10.2003. – URL: <http://www.google.com/patents/WO2003088379A2?cl=ru> (дата обращения: 22.05.2016).

4. *Schneuwly A., Gally R.* Properties and applications of supercapacitors from the state-of-the-art to future trends // Proceeding PCIM 2000 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.garmanage.com/atelier/root/public/Contacting/biblio.cache/PCIM2000.pdf> (дата обращения: 22.05.2016).

5. *Козлов, А. Н.* Сравнительная оценка свойств электрического заряда и емкости электрохимических конденсаторных модулей и химических аккумуляторных батарей // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2015. – № 1(3). – 12 с. – URL: [http://www.adi-madi.ru/madi/article/view/113/pdf\\_65](http://www.adi-madi.ru/madi/article/view/113/pdf_65) (дата обращения: 22.05.2016).

6. *Деньщиков, К. К.* Суперконденсаторы: принципы построения, техника и применения [Слайды] // ОИВТ РАН [Сайт]. – URL: [http://jiht.ru/science/science\\_council/presentations/denshchikov/Ученый\\_совет\\_2013\\_финал.pdf](http://jiht.ru/science/science_council/presentations/denshchikov/Ученый_совет_2013_финал.pdf) (дата обращения: 01.12.2015).

7. *Шамаханова, И. М.* Суперконденсаторы в электрической цепи // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2014. – № 5(108). – С. 56–59. – URL: [http://www.zabgu.ru/files/vest\\_5\\_14\\_ot\\_04.06\\_0.pdf](http://www.zabgu.ru/files/vest_5_14_ot_04.06_0.pdf) (дата обращения: 22.05.2016).

8. *Подкин, Ю. Г.* Электротехника и электроника / Ю. Г. Подкин, Т. Г. Чикуров, Ю. В. Данилов. – Т. I. – Электротехника / под ред. Ю. Г. Подкина. – М.: Академия, 2011. – 400 с.

### Designing power converters pyrotechnic pulsed power sources

**Abstract.** *Electrotechnical and mathematical models of a pulse pyrotechnic source of current (PPSC) and the capacitor store of electric energy (CSEE) are created. The main criteria of optimization of processes of coordination of PPSC and CSEE are created. Limit operational characteristics of CSEE are defined and crite-*

*ria of an assessment of possibility of their use are found in systems of accumulation of energy from PPSC and modeling of functions of interrelation and optimization of coordination. The algorithm of systemotechnical design of the hybrid power supply (HPS) providing optimization of circuitry realization is offered.*

**Keywords:** pyrotechnic source of current, capacitor store of electric energy, sources coordination, systemotechnical design, component reliability.

*М. А. Подсизерцев*, магистрант  
*П. А. Ушаков*, д-р техн. наук, проф.  
E-mail: podsizertsev@ya.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Анализ характеристик шестиполюсного R-C-NR-ЭРП при различных двухполюсных схемах включения**

*В данной работе рассматривается предположение о наличии влияния двухполюсной схемы включения шестиполюсного R-C-NR-ЭРП на его характеристики.*

**Ключевые слова:** RC-ЭРП, анализ и синтез.

### **Введение**

Элементы с фрактальным импедансом (ЭФИ) являются новой элементной базой, позволяющей выполнить обработку сигналов в пространстве дробной меры и моделировать процессы, динамика которых подчиняется дифференциальным уравнениям дробного порядка [1].

В работах [2–3] предложены конструкции ЭФИ на основе одномерных однородных резистивно-емкостных элементов со структурой слов вида R-C-NR (R-C-NR-ЭРП), схема включения которых, значение параметра N, соотношение геометрических размеров R-C-NR-ЭРП позволяют задавать необходимый дробный порядок зависимости импеданса от частоты.

В [3] разработана программа синтеза ЭФИ на основе четырех R-C-NR-ЭРП, представляющих собой четырехполюсники, конструктивная реализация которого приводит к сравнительно большим размерам ЭФИ. Математической моделью R-C-NR-ЭРП является матрица проводимостей четвертого порядка, коэффициенты которой записаны в аналитическом виде.

В работе [4] предложена новая базовая конструкция R-C-NR-ЭРП, топология которой изображена на рис. 1. Она отличается от топологии одномерного однородного R-C-NR-ЭРП тем, что верхний резистивный слой разделен на две части. За счет этого увеличивается число конструктивных параметров, которые могут использоваться при синтезе

ЭФИ, а также увеличивается число возможных вариантов двухполюсного включения этого нового (уже шестиполюсного) элемента.

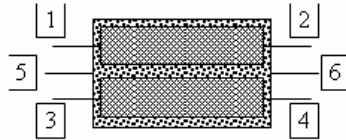


Рис. 1. Пример двумерного элемента в виде шестиполюсника

Проблема использования этой новой базовой конструкции состоит в том, что элемент является 2,5-мерным и для его анализа и вывода аналитических выражений коэффициентов матрицы проводимости шестиполюсника требуется решение специальной краевой задачи. Одним из выходов является численное решение краевой задачи с использованием метода конечных распределенных элементов [5]. На этой математической основе была разработана программа численного анализа характеристик двумерных R-C-NR-ЭРП [6]. Однако недостатком программы является невозможность генерировать все варианты схем двухполюсного включения шестиполюсника и анализировать характеристики полученных двухполюсников. Результатом работы программы с анализируемым шестиполюсником является массив численных значений коэффициентов неопределенной Y-матрицы в зависимости от частоты.

### **Автоматическое получение характеристик**

Для анализа двухполюсного включения шестиполюсника требуется провести ряд действий, описанных в [7]:

- записать неопределенную матрицу Y-параметров;
- выбрать произвольную двухполюсную схему включения;
- выполнить преобразования матрицы, согласно теории многополюсников;
- найти выражение входного импеданса двухполюсника.

Любое изменение топологии RC-элемента влечет за собой изменение матрицы проводимостей и, следовательно, свойств полученной структуры. Это обстоятельство приводит к выводу о необходимости автоматизировать вычисления. В качестве основы выбрана программа RCWorkbench [6], так как в ней уже реализован первый этап из четырех, обозначенных выше.

Программа синтеза ЭФИ RCWorkbench обладает широкими возможностями редактирования RC-структур. Удобный графический редактор позволяет создавать любые сложные варианты топологий, в том числе и для структуры с шестью контактными площадками. Однако серьезным ограничением для анализа шестиполосника является отсутствие возможности выбрать схему включения полученного элемента.

Для решения задачи разработана программа в среде MATLAB, использующая в качестве входных данных текстовый файл, содержащий неопределенную матрицу Y-параметров и введенную пользователем двухполосную схему включения шестиполосника. Возможности программы:

- интерактивный ввод произвольной схемы включения шестиполосника (рис. 2);
- формирование символьного выражения входного импеданса для введенной схемы включения шестиполосника (рис. 3);
- импорт массива численных значений коэффициентов неопределенной Y-матрицы (рис. 3);
- построение амплитудно- и фазочастотных характеристик (рис. 4).

Для проверки влияния схемы включения на выходные характеристики элемента был произведен анализ двух разных схем. Результаты анализа приведены на рис. 5 и 6.

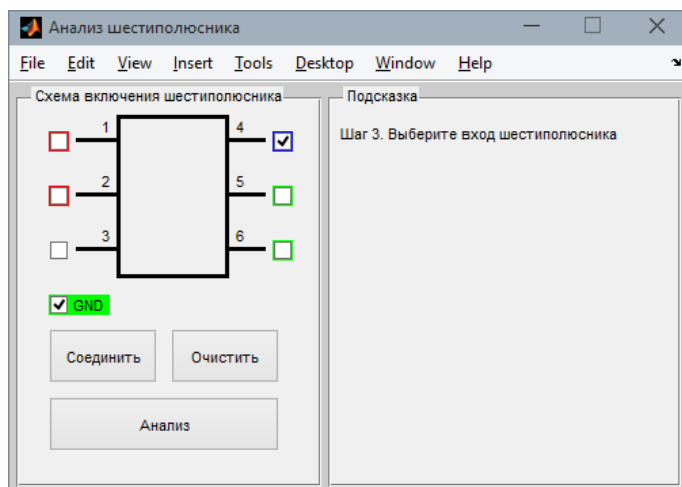


Рис. 2. Ввод схемы включения шестиполосника



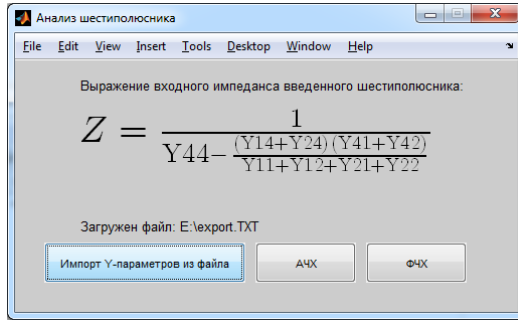


Рис. 3. Окно с результатом преобразования матрицы

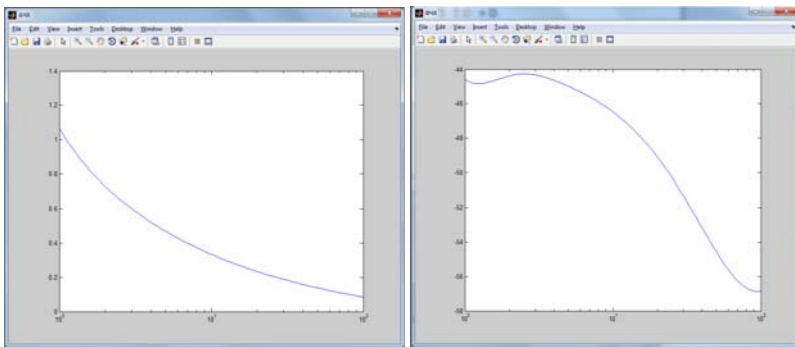


Рис. 4. Графики АЧХ (слева) и ФЧХ (справа) входного импеданса

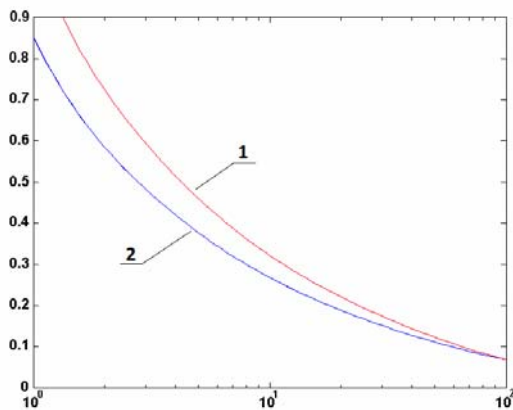


Рис. 5. Графики АЧХ входного импеданса для двух разных схем включения

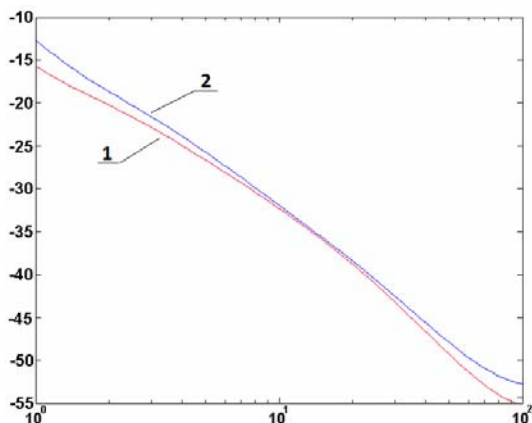


Рис. 6. Графики ФЧХ входного импеданса для двух разных схем включения

## Выводы

Очевидно, что изменение схемы включения шестиполюсника оказывает влияние на характеристики элемента. Данный результат весьма показателен в качестве обоснования необходимости учета схемы включения в ходе изучения шестиполюсных RC-структур. Но поставленную задачу разработанный программный продукт выполняет не в полной мере. Явные недостатки текущей реализации:

- Каждый вариант схемы включения вводится вручную. Вариантов включения схемы довольно много, и их анализ требует большого количества времени. А так как исходная задача требует минимизации ручного труда, необходимо автоматизировать программу дальше – ввести автоматический перебор всех схем включения.
- Программа лишь строит характеристики структур, а анализ возлагается на пользователя. Нужно ввести отбор только тех схем включения, при которых выходные характеристики удовлетворяют критериям, заданным пользователем.
- По-прежнему нет единой программы анализа. Экспортировать результаты в файл и обрабатывать их в другой программе неудобно. Нужно ввести недостающий функционал в программу RCWorkbench.

## Список литературы

1. *Потапов, А. А.* Фрактальные элементы и радиосистемы. Физические аспекты / А. А. Потапов, А. Х. Гильмутдинов, П. А. Ушаков. – М. : Радиотехника, 2009. – 200 с.

2. *Filippov, A. V.* Research of fractal thick-film elements frequency responses / A. V. Filippov, C. O. Maksimov, P. A. Ushakov // 11<sup>th</sup> International conference and seminar on micro/nanotechnologies and electron devices proceedings. – Novosibirsk : NSTU, 2010. – P. 165–167.

3. *Максимов, К. О.* Решение задачи обеспечения заданных параметров фрактальных радиоэлементов на основе резистивно-емкостной среды : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – 19 с.

4. Пассивные электронные компоненты с фрактальным импедансом / Д. А. Бекмачев, Д. В. Слезкин, К. О. Максимов, П. А. Ушаков, С. А. Широких // Пассивные электронные компоненты – 2011 : тр. науч.-техн. конф. (Н. Новгород, 13–15 апреля 2011 г.). – Н. Новгород : КБ «ИКАР», 2011. – С. 119–129.

5. *Гильмутдинов, А. Х.* Резистивно-емкостные элементы с распределенными параметрами: Анализ, синтез и применение. – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2005. – 350 с.

6. Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2010612900. «Программа синтеза конструкции резистивно-емкостных элементов с распределенными параметрами» / правообладатель: Филиппов А. В.; авторы: Филиппов А. В., Ушаков П. А., Красноперов К. В. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28 апреля 2010 г.

7. *Понов, В. П.* Основы теории цепей. – М. : Высш. шк., 1985. – 496 с.

## **An analysis of a six-pole RC-NR-ERP characteristics in various bipolar switching circuits**

**Abstract.** *In this paper considers the assumption that the bipolar switching circuit has an influence on six-pole RC-NR-ERP characteristics.*

**Keywords:** RC-EDP, analysis and synthesis.

Э. В. Порошин, студент

Р. Г. Дойников, студент

Г. А. Фомин, студент

В. А. Глушков, канд. техн. наук, доц.

E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Состояние и перспективы применения суперконденсаторов

*В данной статье приведена характеристика ионистора, описан его принцип работы, физико-химические свойства, положительные и отрицательные качества как альтернативного источника питания. В ходе работы была проведена сравнительная характеристика ионистора, конденсатора и аккумуляторной батареи.*

**Ключевые слова:** ионистор, суперконденсатор, источник питания, емкость, заряд, электрод.

### Введение

Электрическая емкость нашей планеты примерно составляет 700 мкФ. Классический конденсатор, обладающий такой же емкостью, по своим габаритным размерам сравним с кирпичом. Но в настоящее время существует класс электрических элементов, которые имеют электрическую емкость земного шара и размер пятирублевой монеты.

Ионистор – электрохимическое устройство, конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, «обкладками» в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита. Функционально представляет собой гибрид конденсатора и химического источника тока.

В литературе встречаются разные названия: ионисторы, суперконденсаторы, ультраконденсаторы и т. д. Сегодня ионистор можно приобрести в любом магазине радиодеталей. Существует огромный ассортимент ионисторов разной емкости и рабочего напряжения. Ионисторы применяются во множестве радиоэлектронных приборов и существуют перспективы замены классических аккумуляторов ионисторами.

Целью нашей работы является изучение ионисторов, возможности их применения и перспективы развития.

При осуществлении автономного питания достаточно часто необходимо реализовать начальные большие кратковременные токи (например, ручной электроинструмент с аккумуляторным питанием), и обойтись только аккумулятором не представляется возможным. Тогда используют комбинацию аккумулятора (или батареи) – электролитический конденсатор. Аккумулятор или батарея реализуют достаточно продолжительное энергозависимое питание, а электролитический конденсатор – кратковременный большой ток в нагрузку. Достаточно недавно появился новый класс приборов – ионисторы. По сравнению с батареями, аккумуляторами или электролитическими конденсаторами, где используются необратимые, обратимые химические реакции или классический заряд конденсатора соответственно, в ионисторах осуществляется механизм образования «двойного электрического слоя». По сравнению с вышеприведенными устройствами ионисторы обладают рядом преимуществ: это широкий температурный диапазон, большая емкость, высокое сопротивление изоляции (низкие токи утечки), длительный срок службы, отсутствие необходимости контроля процесса зарядки, до нескольких десятков тысяч циклов заряд/разряд.

Классические конденсаторы имеют многослойный или монокристаллический диэлектрик между двумя его обкладками. Например, в алюминиевом электролитическом конденсаторе, в качестве диэлектрического слоя используется пленка оксида алюминия, а в танталовом конденсаторе – пленка оксида тантал. Ионистор же не имеет диэлектрического слоя, так как в нем применяется физический механизм образования двойного электрического слоя, который работает аналогично заряженному диэлектрику. Процесс зарядки/разрядки происходит в слое ионов, сформированном на поверхностях положительного и отрицательного электродов, к примеру, из активированного угля (рис. 1). Под действием приложенного напряжения анионы и катионы движутся к соответствующему электроду и накапливаются на поверхности электрода, образуя, таким образом, с зарядом электрода двойной электрический слой. Вследствие этого и появилось название «конденсатор с двойным электрическим слоем» (electric double layer capacitor – EDLC).

Существует два типа электролитов, которые обычно используются при производстве ионисторов: водные (водорастворимые) и органические (водонерастворимые). Безводный электролит позволяет прикладывать напряжение до 3 В к ячейке ионистора, что в два раза выше по сравнению с водорастворимым электролитом, для которого это напряжение не превышает 1,5 В. В данном случае двойной электрический слой работает как изолирующий и при приложении постоянного внешнего напряжения не позволяет протекать сквозному току. Элек-

трический ток начинает протекать при конкретном уровне напряжения определенной полярности за счет электрохимических процессов. Величина этого напряжения называется «напряжением разложения» или «напряжением электрохимического распада электролита». При дальнейшем увеличении напряжения электролит начнет разлагаться более интенсивно, что приводит к появлению дополнительного тока, и ионистор выйдет из строя.

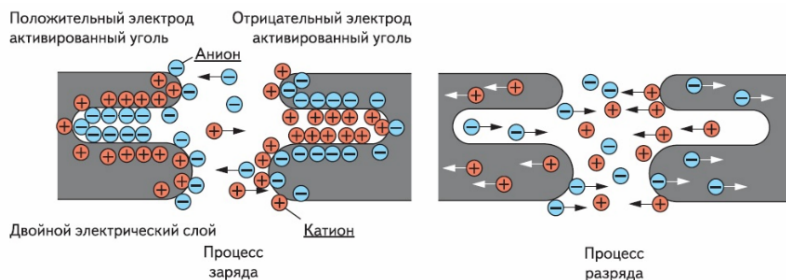


Рис. 1. Образование электрического слоя на поверхностях положительного и отрицательного электродов, к примеру, из активированного угля

Образование двойного электрического слоя характеризуется формированием на поверхности электрода положительных и отрицательных зарядов. Границей раздела в этом случае будет двойной электрический слой (рис. 2, а). При приложении более высокого напряжения эта область увеличивается (рис. 2, б), и накапливаемый заряд увеличивается. Толщина двойного электрического слоя очень мала и сопоставима с размером молекулы, то есть около 5–10 нм. В качестве электродов, как правило, используется активированный уголь (в виде мелкодисперсной фракции), изготовленный по специальной порошковой технологии, и органический электролит. Электролит проникает между частями активированного угля, и электрод, таким образом, «пропитан» электролитом. Общую емкость ионистора можно представить, как большое количество малых конденсаторов, где каждая частица из активированного угля – своеобразный электрод для малого конденсатора с емкостью, обусловленной двойным электрическим слоем.

Общая емкость ионистора может быть представлена как

$$C = \frac{S}{d}, \quad (1)$$

где  $d$  – толщина двойного электрического слоя 5–10 нм;  $S$  – общая площадь поверхности электрода из активированного угля.

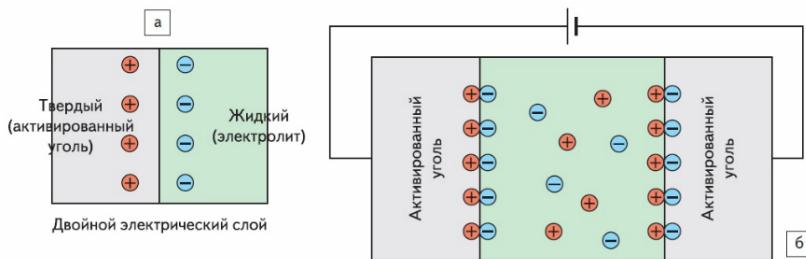


Рис. 2. Образование двойного электрического слоя (а) и увеличение заряда при положении напряжения (б)

Поскольку электрод ионистора представляет собой совокупность огромного количества частиц активированного угля, он имеет очень большую площадь поверхности, приблизительно до  $2500\text{--}3000\text{ см}^2/\text{г}$ . Это позволяет получить емкость до нескольких десятков фарад.

На рис. 3 представлена одна из возможных конструкций ионистора в поперечном разрезе. Между электродами для предотвращения проникновения ионов расположен «сепаратор» с хорошими изоляционными свойствами, что позволяет не допустить короткого замыкания между электродами.

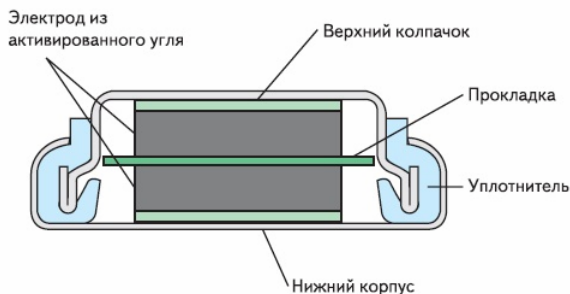


Рис. 3. Одна из возможных конструкций ионистора в поперечном разрезе

К основным положительным качествам ионисторов можно отнести:

- Малое время заряда и разряда. Благодаря этому ионистор можно быстро зарядить и использовать, тогда как на заряд аккумуляторных батарей уходит значительное время.

- Количество циклов заряд/разряд – более 100000.

- Не требуют обслуживания.

- Небольшой вес и габариты.
- Для заряда не требуется сложных зарядных устройств.
- Работает в широком диапазоне температур ( $-40\dots+50$  °C). При температуре больше  $+70$  °C ионистор, как правило, разрушается.

– Длительный срок службы.

Применение ионисторов:

- телевизоры, СВЧ-печи: резервное питание таймера;
- видеокамеры, платы памяти: резервное питание запоминающего устройства во время смены батарей;
- музыкальные центры: питание микросхем памяти установок тюнера;
- телефоны: резервное питание микросхем памяти для хранения номеров абонентов;
- электронные счетчики электрической энергии;
- охранная сигнализация;
- электронные измерительные приборы и т. п.

Еще одна, не менее популярная область применения ионисторов – накопители энергии в автономных системах питания на солнечных элементах. В последнее время наметилась тенденция к применению ионисторов совместно с аккумуляторами в системах со сложным динамическим режимом потребления энергии для кратковременного питания нагрузки большим током.

Они могут безотказно функционировать в цепях постоянного и пульсирующего тока в широком диапазоне механических и климатических воздействий. Использование этих элементов электронной техники существенно упрощает обработку сигналов инфранизких частот. Для питания электронных схем нужны более высокие напряжения, чем обеспечивают ионисторы. Для получения нужного напряжения их включают последовательно. Несколько ионисторов обеспечивают напряжение достаточной величины. Параллельное включение ионисторов используют для увеличения их емкости и отдаваемого тока. Комбинированное, т. е. последовательно-параллельное соединение применяют для увеличения как рабочего напряжения ионисторов, так и отдаваемого ими в нагрузку тока. Для балансировки параллельно каждому ионистору рекомендуется включать резистор. Следует избегать в комбинированных схемах внутреннего параллельного соединения ионисторов без балансировочных резисторов.

Ионисторы часто используются вместе с аккумуляторами, дополняя их. Ионисторы способны отдавать большую мощность без каких-либо отрицательных последствий. Ионисторы не боятся коротких замыканий. Главными направлениями дальнейшего развития ионисторов



можно считать повышение энергоемкости и мощности отдаваемой энергии.

К примеру, на новом российском авто  $\ddot{E}$ -мобиль используются конденсаторы фирмы ELTON Super Capacitor.

Ионисторы этой фирмы достигают емкости в 10 000 Ф при напряжении 1,5 В. Также они производят ячейки (модули) с несколькими ионисторами емкостью в 1000 Ф и рабочим напряжением 15 В.

К сожалению, у суперконденсаторов есть и недостатки: суперконденсаторы достаточно дорогие, поэтому не составляют конкуренции батареям (аккумуляторам), так как конденсаторы емкостью, равной емкости одного аккумулятора, обойдутся вам в тысячи долларов.

Тем не менее использование суперконденсаторов в электронике более чем оправдано:

– На контактах суперконденсаторов во время всего цикла разрядки падает напряжение, поэтому для устройств, которые требуют постоянного напряжения, это не применимо. Возможен вариант использования стабилизатора, но при этом устройство будет потреблять больше энергии.

– Суперконденсатор нельзя полноценно использовать вместе с аккумулятором. Если их подключить параллельно из-за внутреннего сопротивления, аккумуляторная батарея всегда будет отдавать больше тока, чем конденсатор.

При этом если потребитель использует импульсный источник питания, в те моменты, когда батарея и конденсатор будут отключены, батарея будет заряжать конденсатор, при этом с большими токами и щадящего режима для батареи просто не получится.

Практический выход – использовать ионисторы как дополнительный источник питания, то есть заряжать их, когда сеть не нагружена, и полностью отдавать их энергию в нужные моменты, после чего подключать батарею, когда энергия уже исчерпана. Это значительно уложняет систему, а значит, и цену таких систем.

### Список литературы

1. Суперконденсаторы или ионисторы вместо аккумулятора. Новая технология  $\ddot{E}$ -мобиль [Электронный ресурс] // Inside Car Electronics [Сайт]. – Дата размещения: 17.08.2011. – URL: <http://www.insidecarelectronics.com/superkondensatori-ili-ionistori-vmesto-akkumulyatora-novaya-tehnologiya-yo-mobil/> (дата обращения: 11.11.2015).

2. Ионистор [Электронный ресурс] // Аккумуляторы, батарейки и другие источники питания [Сайт]. – URL: <http://www.powerinfo.ru/supercapacitor.php> (дата обращения: 15.11.2015).

3. Ионисторы, суперконденсаторы, ультраконденсаторы: что это такое, их устройство и принцип действия [Электронный ресурс] // ЭлектроХобби: в мире электричества [Сайт]. – URL: [http://electrohobby.ru/ionistr\\_superkond\\_ultrakon\\_ch.html](http://electrohobby.ru/ionistr_superkond_ultrakon_ch.html) (дата обращения: 15.11.2015).

4. Ионистор: устройство, характеристики и применение ионисторов [Электронный ресурс] // Go-radio.ru [Сайт]. – URL: <http://go-radio.ru/ionistor.html> (дата обращения: 17.11.2015).

5. Панкрашкин, А. Ионисторы Panasonic: физика, принцип работы, параметры [Электронный ресурс] // Компоненты и технологии. – 2006. – № 9. – URL: [http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2006\\_09\\_12.pdf](http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2006_09_12.pdf) (дата обращения: 21.11.2015).

## **Current situation and outlook of supercapacitors application**

**Abstract.** *The article describes supercapacitors, their principle of operation, properties, advantages and disadvantages as an alternative energy source. Comparative analysis of supercapacitors, capacitors and accumulators was performed.*

**Keywords:** supercapacitor, electrical energy source, capacity, charge, electrode.

УДК 727.912, 727.913

*В. П. Тарануха*, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой  
«Конструирование радиоэлектронной аппаратуры»  
E-mail: Vladimir.Glushkov@gmail.com

*В. А. Глушков*, канд. техн. наук, доц.  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова  
*В. В. Чумаков*, руководитель  
E-mail: udmsky@gmail.com  
ООО «Планетарий», г. Ижевск  
*Гариб Мажд*, бакалавр архитектуры  
Аль-Баас университет, Хомс, Сирия

## **Концепция загородной астрономической площадки в составе студенческого городка ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»**

*Обзор существующих решений и перспективы строительства загородной астрономической площадки в Удмуртии.*

**Ключевые слова:** планетарий, телескоп, астрономическая площадка.

### **Введение**

В прежние времена обсерватории, как правило, сооружали вблизи университетов. Современные астрономические обсерватории – сложные научно-исследовательские комплексы, размещаемые вдали от крупных инфраструктурных объектов в местах с наилучшими условиями для наблюдения изучаемых явлений и включающие постройки различного функционального назначения, зонированные на жилую, обслуживающую и техническую (место размещения телескопов) зоны. Они предназначены для проведения систематических наблюдений небесных тел и исследования их электромагнитного излучения в оптической и других областях спектра (в радиодиапазоне).

### **Ситуация в мире**

Среди крупных астрономических комплексов можно выделить следующие:

- Обсерватория Ла-Силья, расположенная в пустыне Атакама, Чили на высоте 2400 метров над уровнем моря, в 160 км к северу от Ла-Серена.

Принадлежит Европейской южной обсерватории (ESO), всего 18 телескопов).

- Very Large Telescope – комплекс из четырех отдельных 8,2-метровых оптических телескопов, объединенных в одну систему (оптический интерферометр с базой порядка 300 м). Расположен на высоте 2635 метров над уровнем моря в пустыне Атакама. Принадлежит ESO.

- ALMA – радиоастрономическая обсерватория в Чили. Открыта в 2013 г. Состоит из 66 радиотелескопов 7 и 12 метров в диаметре, работающих в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах, объединенных в единый интерферометр с изменяемой базой. Самый дорогой астрономический проект на Земле. Для корреляции совместной работы используется суперкомпьютер, способный выполнять 17 миллиардов операций в секунду.

- Обсерватория Мауна-Кеа, находящаяся на острове Гавайи на высоте 4145 метров над уровнем моря. Это международный проект. Территория управляется Гавайским университетом.

Обсерваторные комплексы оснащены большими телескопами, снабжены современной дорогостоящей аппаратурой и компьютеризированными системами для контроля и управления. Астрономия XXI века – это передовой край фундаментальной науки, требующий использования самых передовых инженерных решений, соединяющих высокоточную оптику и механику, самые чувствительные приемники и мощнейшие средства обработки информации.

К точности и плавности хода монтажных прецизионных систем предъявляются очень высокие требования. Телескоп должен быть точно нацелен на объект и отслеживать. Конструкция в тысячи тонн должна двигаться точнее секундной стрелки часов.

Так, крупные наземные телескопы используют системы активной и адаптивной оптики, что позволяет им исключать влияние атмосферы, поднимая качество изображения на уровень космических телескопов.

Развитие телескопов породило проблему экспоненциального роста данных. Накопленные петабайты информации составляют конкуренцию обычным аналитическим методам. Национальные и международные виртуальные обсерватории решают проблему организации централизованного доступа к астрономическим данным, алгоритмам для их анализа и обработки из любой точки планеты. Телескоп Хаббл собрал более 100 терабайт данных. ALMA – международный комплекс наземных радиотелескопов с момента ввода в эксплуатацию в 2014 году начал генерировать 40 терабайт новых данных в день.

Фотометр телескопа Кеплер, предназначенный для поиска экзопланет, состоит из 95 миллионов пикселей. Большой обзорный телескоп LSST будет использовать CCD-матрицу плотностью в 3,2 миллиарда пикселей.

Башня телескопа – не менее сложный и дорогостоящий, чем сам телескоп, инженерный объект. Она гасит вибрации, предохраняет от землетрясений и непогоды, обеспечивает вентиляцию самого инструмента и подкупольного пространства, защищает от перепадов температуры.

Возможности современной электроники позволяют вести дистанционные наблюдения, вообще не посещая обсерваторию, или строить в труднодоступных местах полностью автоматические телескопы-роботы, самостоятельно работающие по намеченной программе.

Крупные обсерватории и научные центры по изучению космоса создают либо самые богатые страны, либо несколько стран в кооперации друг с другом. Сейчас более чем в 30 странах мира функционирует более 100 крупных обсерваторий. Самостоятельно или в кооперации они проводят несколько многолетних программ наблюдений: астрометрические измерения, метеорный патруль, наблюдения Солнца, Луны и планет, звезд, галактик, далеких слабых объектов. Время, выделяемое для научной работы в таких обсерваториях, стоит чрезвычайно дорого (может превышать десятки тысяч долларов) и распределяется иногда на годы вперед на конкурсной основе с приоритетным правом для стран, участвовавших в создании объектов инфраструктуры.

**Астрометрические измерения.** Высочайшая «астрономическая» точность измерений необходима для создания каталогов положения и движения светил, необходимых для наземной и космической навигации. С Земли астрономы могут измерять смещение в 0,01" (толщина спички, удаленной на 40 км!), что соответствует расстоянию в 100 парсеков.

**Метеорный патруль.** Наблюдения метеоров позволяют изучать траектории метеоров и возможного места падения метеоритов, состав космических пылинок и строение земной атмосферы на высотах 50–100 км, восстановить орбиту выпавших метеоритов до столкновения с Землей.

**Наблюдения Солнца, Луны, планет, звезд галактик.** С помощью спектрографов и поляриметров изучают поверхность Солнца, планет, спутников, астероидов и комет, определяют химический состав атмосферы и особенности твердой поверхности. Анализ спектра звезд дает информацию о колебании и температуре их поверхности, о внутрен-

нем строении звезд, о наличии у них спутников и потоков вещества, иногда перетекающих с одной звезды на другую.

**Наблюдения далеких слабых объектов.** Эти наблюдения позволяют наиболее глубоко проникать во Вселенную и изучать ее структуру и происхождение, экзопланеты, эволюцию звезд, галактик и Вселенной в целом, темной материи и темной энергии.

**Наблюдения в радиодиапазоне.** Радиодиапазон намного шире оптического. Кроме известных в оптической астрономии объектов – Солнца, планет и горячих туманностей, источниками радиоволн оказались неизвестные ранее объекты: холодные облака межзвездного газа, ядра галактик и взрывающиеся звезды.

Благодаря развитию цифровой техники существенно возросли возможности малых астрономических комплексов, которые используют небольшие по современным меркам телескопы. Полупрофессиональная техника также стала намного более совершенной, при этом сохранила свою доступность для любителей астрономии.

Например, современные любительские снимки по качеству превосходят лучшие снимки Сатурна 20-летней давности, сделанные профессиональной аппаратурой того времени. То, что сегодня делает любитель, еще вчера было недоступно профессионалам. В результате за последние годы в России любители астрономии открыли больше комет и астероидов, чем профессионалы. Грань между любительскими возможностями и профессиональными для решения ряда задач практически сведена к нулю.

Что делать, если денег не достаточно, но хочется получать качественные результаты? Например, телескоп рефлектор Hobby-Eberly (создана в южной Африке двумя университетами в США) с мозаичным зеркалом размером 11 м, но он не полноповоротный, он видит только 70 % неба над ним, но при этом стоит в 10 раз дешевле.

В качестве еще одного примера приведем астрономический кемпинг Elqui Domos, построенный в 2005 г. в центральной части Чили в 100 км от города Ла-Серена. В составе комплекса 12 жилых построек, выполненных в форме геодезического купола. Каждый из домиков оборудован телескопом, биноклями и спектрографами. На первом этаже расположена гостиная и ванная комната, а на втором – спальня. Главная особенность купольных домиков – раздвижная крыша. Каждый коттедж имеет собственную террасу и дополнительный телескоп. Для постояльцев проводятся лекции и экскурсии. Неподалеку от кемпинга работает небольшая астрономическая обсерватория Мамалюка – одна из немногих, которую могут посещать туристы. Есть организо-

ванные прогулки на лошадях, которые доступны как днем, так и ночью, когда небо усеяно миллионами звезд.

### **Ситуация в России**

В России основные астрономические площадки исторически представлены такими ведущими вузами, как СПбГУ, МГУ, КФУ и УРФУ. Все они имеют свои загородные наблюдательные базы:

- Коуровская астрономическая обсерватория Уральского федерального университета. Она оснащена шестью телескопами с диаметром зеркала от 440 до 1,2 м. Коллектив обсерватории принимает активное участие в выполнении государственных и международных программ, выигрывает гранты и конкурсы на проведение астрономических исследований с использованием крупнейших мировых инструментов. Обсерватория является просветительским центром, где ежегодно проводятся экскурсии для школьников, учителей и населения Уральского региона.

- Кавказская горная обсерватория МГУ ГАИШ, открытая в декабре 2014 г. Это первая крупная обсерватория, построенная в России за 30 лет. Она оснащена небольшим телескопом класса 2,5 метра. Для нужд образования – инструмент очень хороший. В России это будет первый крупный телескоп за последние 30 лет и второй телескоп по размерам после шестиметрового телескопа. Объекты наблюдения для данной обсерватории – это переменные звезды, нестационарные объекты и так далее. Имеется возможность спектроскопии среднего разрешения для многих объектов.

- Мастер. Это мобильная астрономическая система телескопов-роботов, которую создали астрофизики Государственного астрономического института имени Штернберга при участии ряда других организаций. Детище профессора Липунова из МГУ ГАИШ. Роботы произвели настоящую революцию в астрономии. Они позволили совершить прорыв в исследовании короткоживущих явлений во Вселенной. С помощью роботизированных обсерваторий удалось открыть собственное оптическое излучение самых мощных взрывов во Вселенной – гамма-всплесков. Телескопы-роботы открывают сотни и тысячи новых малых тел солнечной системы, среди которых опасные астероиды и кометы. Первый телескоп сети собран и заработал на даче в Подмосковье. Мастер – это автоматизированный фотометрический комплекс, который сделали студенты. Мастер показал, что Вселенная живет в масштабах времени – каждую долю секунды, каждый час и минуту на небе появляется что-то новое или что-то исчезает. Раньше это совершено выпадало из поля зрения астрономов. Сейчас мы знаем, что в центрах галактик есть взрывы, длящиеся несколько секунд. Сеть

Мастер сейчас простирается от Благовещенска до Аргентины. Главная цель Мастер – полный обзор неба за сутки. Одна ночь – одно небо.

### **Частные астрономические обсерватории в РФ**

После распада СССР в стране резко снизились затраты на финансирование и развитие фундаментальных исследований. Рост доходов на душу населения и выход из кризиса в конце 90-х годов снова привлек внимание широкой публики к астрономии. Сейчас на территории страны начинают появляться негосударственные обсерватории, оснащенные техникой профессионального уровня, например КАДАР (школьный астероидный патруль), КЕПЛЕР.

### **Перспективы создания астрономической площадки на территории кампуса ИжГТУ имени М. Т. Калашникова**

Ижевский планетарий активно сотрудничает с ИжГТУ имени М. Т. Калашникова по проведению научно-популярных мероприятий, призванных привлекать школьников и студентов Ижевска, Удмуртской Республики к естественно-научным и техническим областям, в частности к астрономии и космической отрасли в целом. Усилением такого взаимодействия представляется совместная разработка концепции загородной астрономической площадки.

Загородная астрономическая площадка (студенческая обсерватория) – это учебная лаборатория с собственной инструментальной базой, состоящей из стационарных телескопов диаметром от 200 до 300 мм, в которой студенты могут проводить лабораторные испытания приборов.

Возможные направления деятельности загородной астрономической площадки:

1. Проведение наблюдательных программ студентов, учебные и экспериментальные задачи:

- управление обсерваториями и астрономическим оборудованием;
- астрометрия и небесная механика;
- фотометрические измерения;
- астрофотография;
- наблюдения Солнца, Луны, планет, звезд галактик;
- наблюдения далеких слабых объектов;
- наблюдения в радиодиапазоне;
- открытие новых небесных тел (малые тела, новые, сверхновые звезды);
- изучение переменных звезд;
- изучение атмосферных аберраций;
- строение, происхождение и развитие Галактики и ее подсистем;
- физика звезд и межзвездной среды;



- физика солнечной активности и ее земные проявления.
2. Совместная работа с профессиональными обсерваториями и научными институтами:
- сеть телескопов Мастер (регистрация и изучение гамма-всплесков);
  - Астрател (программа «Школьный астероидный патруль»).
3. Научно-популяризаторская работа:
- профориентация учащихся;
  - проведение экскурсии – демонстрация в стационарные телескопы наиболее интересных космических объектов, лекции;
  - проведение астрономических фестивалей для учащихся Удмуртии;
  - эффективная помощь в образовании астрономии школьникам и студентам, любителям астрономии в проведении научных исследований.

### **Выводы**

В современном мире большое внимание уделяется развитию и совершенствованию астрономического образования. В местах с благоприятным астроклиматом создаются астрономические площадки, строятся университетские обсерватории. Они служат местом для размещения современных научных приборов и апробации передовых инженерных решений, местом для кооперации и объединения частных и государственных усилий как на национальном, так и международном уровне, местом для интеграции науки и образования, для эффективного решения задач межвузовского взаимодействия, профориентации учащихся, научно-просветительской деятельности, развития в сфере культуры и туризма.

Динамика последних лет показывает, что в России и в Ижевске в частности интерес к науке о космосе только растет, и это можно только приветствовать. Все большее количество учащихся принимает участие в астрономических наблюдениях в Ижевске и за городом, посещает планетарий, лекции и еженедельные открытые занятия по астрономии и космонавтике в ИжГТУ. Размещение новых и модернизация старых астрономических площадок в городской черте с некоторых пор считается неэффективным вследствие наличия светового загрязнения и смога. Таким образом, формируются предпосылки для создания загородной наблюдательной базы в пригороде Ижевска.

Авторам доклада видится перспективным развитие сотрудничества между ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» и Ижевским астрономическим обществом в части совместного проектирования и реализации концепции загородной астрономической площадки в составе студенческого городка. Реализация концепции потребует от участников широкого спектра компетенций в области оптики, механики,

конструирования радиоэлектронной аппаратуры (контрольно-измерительных приборов, средств связи и управления), лазерной техники, строительства и дизайна, и будет одним из показательных примеров решения задачи интеграции в сфере науки, образования и производства в регионе. Астрономия всегда привлекала молодежь в технические дисциплины, и загородная астрономическая площадка будет только способствовать профориентации, привлечению учащихся из смежных регионов, формированию целого спектра новых учебных и научных задач, развитию потенциала и повышению инвестиционной привлекательности ИжГТУ, откроет возможности к участию в интересных национальных и международных проектах (совместные программы наблюдений и обработки данных, подключение к сети телескопов-роботов).

### Список литературы

1. Рекомендации по проектированию планетариев и массовых астрономических обсерваторий / НИЛЭП ОИСИ. – М. : Стройиздат, 1988. – 104 с.
2. Хокинс, Дж. Разгадка тайны Стоунхенджа / Дж. Хокинс, Дж. Уайт. – М. : МИР, 1973. – 242 с.
3. *Perlus, B.* Architecture in the Service of Science [Electronic resource] // India. – 2005. – С. 01 25. – URL: <http://www.jantarmantar.org>.
4. *Wolfschmidt, G.* Cultural Heritage of Astronomical Observatories – From Classical Astronomy to Modern Astrophysics. – ICOMOS Symposium in Hamburg, October, 14–17, 2008, Vol. 18. – 378 p.
5. *Moore, P.* The Astronomy encyclopedia. – Oxford University Press, USA, 2002. – 464 p.
6. *Безчастнов, И. М.* Планетарии и массовые обсерватории. – М. : Стройиздат. 1977. – 172 с.
7. *Безчастнов, И. М.* НИЛЭП ОИСИ. Рекомендации по проектированию планетариев и массовых астрономических обсерваторий / И. М. Безчастнов, В. А. Лисенко, А. И. Буренин и др. – М., 1988.
8. European Organisation for Astronomical Research in the Southern [Electronic resource] // Garching, Germany, 2005. – URL: <http://www.eso.org> / (дата обращения: 26.01.2012).

## **The concept of the astronomical suburban area as a part of the Kalashnikov Izhevsk State Technical University campus**

**Abstract.** *There given an overview of the existing solutions and the prospects of creating a country astronomy site in the Udmurt republic.*

**Keywords:** planetarium, telescope, astronomy site.

*В. П. Тарануха*, канд. техн. наук, доцент

E-mail: kra\_dept@istu.ru

*Е. А. Непогодин*, соискатель

Ижевский государственный технический университет имени М.

Т. Калашникова

*С. А. Петрушин*, канд. техн. наук, доц.

E-mail: psatsi@gmail.com

ООО «Республиканский центр робототехники», г. Ижевск

## **Применение солнечных батарей для беспилотных летательных аппаратов**

В настоящее время применение современных мини-БПЛА массой до 50 кг ограничено по времени имеющимся запасом энергии, необходимой для автономной работы аппарата, будь то построенного на ДВС или на электрической тяге. Среднее время полета составляет порядка до 2 часов, а полезной нагрузкой является одна фотокамера, поскольку все остальное пространство занимают источники энергии, коими в традиционных силовых установках являются сжигаемое топливо либо аккумуляторные батареи.

С целью повышения эксплуатационных характеристик мини-БПЛА на электрической тяге нами было предложено заменить часть традиционных АКБ на гибридную силовую установку, состоящую из солнечных батарей, суперконденсатора (ионистора) и LiPo АКБ, тем самым увеличив время автономного полета до 4–8 часов (в зависимости от облачности и времени года). Предпосылками для данного решения было появление коммерчески реализованных многослойных солнечных батарей на основе GaAs, КПД которых 34 %, а также тот факт, что БПЛА тратит от 25 до 40 % энергии при взлете и наборе высоты, и в дальнейшем несет «пустые банки» АКБ весь оставшийся полет.

Несколько слов о солнечной энергетике.

Первые шаги в преобразовании энергии солнца в электричество были сделаны в 1839 году, когда Александром Беккерелем был открыт фотогальванический эффект. Следующим этапом в развитии солнечных батарей стали работы Чарльза Фриттса в 1883 г., он сконструировал первый модуль с использованием солнечной энергии. Основой модуля послужил селен, покрытый тонким слоем золота. Данное сочетание элементов позволило преобразовывать солнечную энергию

в электричество, но с КПД менее 1 %. В 30-е годы прошлого века советские физики во главе с академиком А. Ф. Иоффе получили электрический ток, используя фотоэффект. Правда, КПД также не превышал 1 %, но и это являлось серьезным научным шагом. Уже в 1954 г. группа американских ученых добилась 6 % КПД. В этом году свет увидела первая кремниевая солнечная батарея. В 1958 г. солнечная батарея стала основным источником получения электроэнергии на космических аппаратах. К концу 70-х гг. КПД кремниевых кристаллических пластин составлял уже более 15 %, появились разработки на основе GaAs при КПД более 22 %. Такие показатели были вполне приемлемыми для использования альтернативных устройств получения энергии на космических аппаратах, но использовать солнечные батареи на Земле пока не имело смысла – стоимость кремниевого модуля мощностью 1 Вт составляла около \$100. Успешное и стабильное производство солнечных батарей было налажено только в конце 80-х, а в 90-х гг. добились значительного повышения эффективности таких батарей, отличавшихся простотой производства, невысокой себестоимостью материалов, экономичностью. На сегодняшний день серийно выпускаемые солнечные модули на основе кристаллического кремния имеют КПД около 23 % при цене \$0,3 за 1 Вт.

Исследования в области многослойных фотоэлектрических преобразователей привели в конце 2014 г. к получению 4-слойных гетероструктур на основе GaAs с КПД преобразования 46 %! Правда, размер у модулей не более 1 мм<sup>2</sup>, но и кремниевые пластины на начальном этапе своего развития были в тех же габаритах.

В ноябре 2012 г. компания Alta Devices анонсировала начало производства трехслойных солнечных модулей площадью 30 см<sup>2</sup> и мощностью 1035 МВт со спектральной чувствительностью от 300 до 1800 нм, тем самым открыв новую эру в освоении солнечной энергетики на Земле.

Здесь следует отметить, что вырабатываемая СБ мощность сильно зависит от освещенности и тока нагрузки, что отражается на ВАХ явно выраженной точкой максимальной мощности. Разработанный нами контроллер заряда АКБ постоянно отслеживает точку максимума мощности от каждой СБ, что в совокупности с высокой скоростью (порядка 200 мс) коррекции тока нагрузки позволяет получить до 30 % дополнительной энергии в реальных условиях.

Еще одним ключевым моментом для внесения изменений в традиционные схемы энергоснабжения силовой установки БПЛА является тот факт, что после набора высоты и выхода на заданный эшелон характер нагрузки на систему питания становится периодическим (им-

пульсным), обусловлен периодической работой рулевых машин и силовой установки для поддержания заданного курса и высоты. Учитывая этот факт, было решено применить параллельное соединение АКБ и суперконденсатора, т. к. последний обладает на порядок меньшим внутренним сопротивлением, что существенно снижает внутренние потери АКБ и увеличивает время его работы.

Выводы: указанные GaAs солнечные модули будут вклеены в поверхность крыла БПЛА на этапе изготовления, поверхность покрыта оболочкой с линзами Френеля с целью снижения зависимости от угла ориентации относительно солнечного излучения и механической защиты. Солнечные модули собраны в 3 батареи по 56 В каждая, выходы которых будут нагружены через MPPT контроллеры заряда АКБ с ШИМ-преобразователем на гибридную силовую установку напряжением 14,8 В, состоящую из параллельно соединенных LiPo АКБ емкостью 16 А/ч и суперконденсатора 52 Ф. Данная реконструкция традиционной силовой установки БПЛА при определенных погодных условиях позволит увеличить время полета вплоть до полного солнечного дня, сделает их работу более эффективной и рентабельной.

#### Список литературы

1. *Виссарионов, В. И.* Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецова, Н. К. Малинин ; под ред. В. И. Виссарионова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
4. *Dougal, R. A., Liu, S., White, R. E.* “Power and life extension of battery-ultracapacitor hybrids,” *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 25, No. 1, pp. 120–131.
5. *Kuperman, A., Aharon, I., Malki, S., Kara, A.* “Design of a semiactive battery-ultracapacitor hybrid energy source,” *2010 IEEE 26th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel (IEEEI)*, November, 17–20, 2010, pp. 593–597.
6. *Liang, J., Zhang, J., Zhang, X., Yuan, S., Yin, C.* “Energy management strategy for a parallel hybrid electric vehicle equipped with a battery/ultra-capacitor hybrid energy storage system,” *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, August 2013, vol. 14, No. 8, pp. 535–553.

*В. П. Тарануха*, канд. техн. наук, доц.

*П. А. Ушаков*, д-р техн. наук, проф.

*О. Я. Шамсияхметов*, вед. инженер-электроник

E-mail: kga\_dept@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Использование программно-аппаратных генераторов псевдослучайных чисел в задачах синтеза пассивных электрических фильтров с применением генетических алгоритмов**

*Синтез пассивных электрических фильтров сводится к отбору лучшей схемы из огромного количества исходных вариантов схем-заготовок. Генетический алгоритм позволяет существенно ускорить нахождение оптимального варианта. Но при этом необходимо исключить в исходных топологиях систематические погрешности, приводящие к несходимости алгоритма. Создание программно-аппаратных генераторов случайных чисел решило данную проблему. Была разработана моделирующая программа ГСПЧ и проведена серия экспериментов, а также дана оценка достоверности полученных результатов.*

**Ключевые слова:** пассивные фильтры, синтез схем, генетический алгоритм, генератор случайных чисел.

В большинстве типовых электронных схем присутствует обязательно аналоговый модуль (фильтры, усилители, стабилизаторы). Проектирование аналоговых схем является трудоемким процессом, требующим специальных знаний, основанных на ряде практических экспериментов. Процесс разработки схем занимает много времени даже у опытных проектировщиков.

Аналоговый синтез схем выполняется за два шага:

1. Выбор или генерация подходящей топологии.
2. Калибровка значений элементов.

В области калибровки элементов разработаны качественные инструменты синтеза, основанные на накопленном опыте разработки подобных схем или, относятся к категории оптимизации.

По сравнению с калибровкой элементов, поиск необходимой топологии схемы является более сложной задачей и основывается, прежде

всего, на интуиции. Это обосновывается нехваткой аналоговых инструментов синтеза как в промышленности, так и в науке.

Благоприятный поворот в разработке инструментов синтеза топологии схем произошел с появлением эволюционной электроники, основанной на генетических алгоритмах (ГА).

Генетические алгоритмы являются чрезвычайно стохастическими комбинаторными методами оптимизации, которые позволяют найти оптимальные решения для проблем, которые не могут быть решены стандартными алгоритмами поиска.

Был предложен новый метод синтеза на основе ГА одновременной генерации топологии и значений элементов для пассивных аналоговых схем, составленных из  $R$ -,  $L$ - и  $C$ -элементов.

Сущность метода заключается в следующем:

1. Генерируется максимально возможное количество различных схем с заданными  $R$ -,  $L$ - и  $C$ -элементами.

2. Определяется у каждой схемы функция пригодности  $F_n$  (соответствие заданным характеристикам), и отбираются лучшие схемы.

3. Осуществляется скрещивание (обмен фрагментами схем) и мутация (изменение функции отдельных компонентов) между лучшими схемами.

4. У новой популяции схем – суммы схем родителей (лучшие прототипы) и потомков (результат после скрещивания и мутации) – заново определяются функции пригодности и по результатам выбираются лучшие схемы.

5. Этап скрещивания и мутации повторяется до достижения заданных технических характеристик или до определенного в задании количества этапов.

Основные особенности этого метода:

1. Генетический алгоритм одновременно производит генерацию топологии и калибровку значений элементов схемы.

2. Процедура отбора выбирает две родительские схемы для скрещивания (обмена фрагментами схемы), основываясь на сопоставимости значений их функции пригодности.

3. В процессе развития новая топология может отличаться, но быть более эффективной в сравнении с полученными вручную конструкторскими разработками.

В результате применения данного метода получается оптимальная синтезированная аналоговая схема электрического фильтра с заданными по техническому заданию характеристиками.

Начальные электрические схемы формируются из случайно выбранных элементов ( $R$ ,  $L$  и  $C$ ). Необходимо, чтобы выбор элементов

был действительно случайным. Поэтому применяются качественные генераторы случайных чисел.

Случайная величина – это величина, которая принимает в результате опыта одно из множества значений. Последовательность будет случайной, только если между символами нет зависимости.

Для этого используются источники энтропии. Энтропия – это мера беспорядка.

Источники энтропии используются для накопления энтропии с последующим получением из нее начального значения (initial value, seed), необходимого генераторам для формирования случайных чисел.

Генератор псевдослучайных чисел (ГПСЧ) использует единственное начальное значение, (псевдослучайность), а генератор случайных чисел (ГСЧ) всегда формирует случайное число, имея вначале высококачественную случайную величину от источников энтропии.

Следовательно:

$$\text{ГСЧ} = \text{ГПСЧ} + \text{источник энтропии.} \quad (1)$$

Недостатки ГПСЧ:

1. Предсказуемая зависимость между числами.
2. Предсказуемое начальное значение генератора.
3. Малая длина периода генерируемой последовательности случайных чисел, после которой генератор зацикливается.

Многие языки программирования, например VB, VBA, C, C++, Java, используют линейный конгруэнтный ГПСЧ.

Линейный конгруэнтный метод заключается в вычислении членов линейной рекуррентной последовательности по модулю некоторого натурального числа  $m$ , задаваемой следующей формулой:

$$X_{k+1} = (a * X_k + b) \bmod m, \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $m$  – некоторые целочисленные коэффициенты.

Получаемая последовательность зависит от выбора стартового числа (seed)  $X_k$ , и при разных его значениях получаются различные последовательности случайных чисел. Период такого генератора не больше, чем  $m$ .

Преимуществом линейных конгруэнтных генераторов является их быстрота за счет малого количества операций на байт и простота реализации.

Все эти числа псевдослучайны. Они могут вычисляться по очень сложному алгоритму. Однако они предсказуемы.

Самый очевидный способ получения случайных чисел – это брать их извне. Реальный мир – это громадный генератор случайных вели-



чин. Эти величины тоже псевдослучайны, но их закономерности и взаимозависимости проследить невозможно из-за бесконечного количества вариантов происходящих событий.

Программным методом получить ГСЧ невозможно. Причина в том, что цифровые компьютеры всегда находятся в точно определенном состоянии, которое меняется только при поступлении определенной команды от программы. Единственный способ – эмулировать случайность, генерируя так называемые псевдослучайные числа с помощью специальной математической функции. Но их нужно запускать с качественного случайного начального значения (random seed), иначе они всегда сгенерируют один и тот же набор чисел. И для этого начального значения вам нужно нечто такое, что действительно невозможно подобрать или предсказать.

Наиболее простой способ получения случайных чисел – это снятие шумов со звуковой карты компьютера. Чем хуже звуковая карта, тем лучше она шумит.

Тепловой шум в полупроводниках, обусловленный тепловым движением атомов, является самым распространенным источником случайных чисел.

Звуковая карта, в отличие от большинства остальных компонентов компьютера, имеет в себе не только цифровую часть, но и аналоговую.

Процесс оцифровки звукового сигнала на линейном входе звуковой карты следующий:

1. Имеется электрический сигнал от какого-то источника, несущий информацию о звуке. Сигнал поступает в аналоговую часть звуковой карты, где он усиливается, чтобы соответствовать динамическому диапазону АЦП (аналогово-цифрового преобразователя).

2. Сигнал оцифровывается на АЦП с определенным разрешением и частотой дискретизации и поступает в цифровую часть звуковой карты, откуда его уже можно получить программно.

Любой аналоговый электрический сигнал неизбежно содержит шум, компоненты шума можно примерно разделить на несколько категорий:

- 1) радиопомехи и наводки от соседних устройств и радиоэфира;
- 2) помехи электропитания;
- 3) тепловой шум случайного движения электронов в компонентах электрической схемы.

Шум проникает в выходной цифровой сигнал, отражаясь в младших битах оцифровки. Его можно выделить, оцифровать и сохранить.

В режиме записи случайную информацию несут только младшие биты каждого сэмпла (амплитуды сигнала в момент времени).

Алгоритм работы аппаратного генератора случайных чисел следующий:

1. В течение некоторого времени с частотой дискретизации 44100 Гц записываются данные типа integer с одного входного канала (левого или правого) звуковой карты методом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ).

2. Данные записываются (сохраняются) в выходной файл в формате WAV (Windows Audio Video).

3. Данные файла звукозаписи обрабатываются с целью выделения младших битов семплов (единичных кодированных амплитуд звукового сигнала).

4. Подсчитываются значения по интервалам диапазона случайных чисел.

5. Строится диаграмма распределения случайных величин.

Делая запись без внешнего сигнала (источника), можно получить характеристики шума, естественно присутствующего в цепях звуковой карты. Шум сильно зависит от физического устройства аудиокарты и может не проявляться на некоторых моделях.

Для получения случайной комбинации надо брать младшие четыре бита контрольных замеров.

Проверка расхождения в ожидаемых и реальных частотах на достоверность различий подтверждается расчетом критерия хи-квадрат  $\chi^2$ .

Формула расчета критерия:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(f_{0i} - f_{ei})^2}{f_{ei}}, \quad (3)$$

где  $f_0$  – фактические частоты появления события (наблюдаемые);  $f_e$  – ожидаемые частоты появления события;  $N$  – количество событий (количество используемых значений генератора).

Необходимо сравнить значение  $\chi^2_{\text{эсп}}$  с критическим значением этого критерия –  $\chi^2_{\text{крит}}$  по соответствующей справочной таблице для выбранного показателя.  $K$  – число степеней свободы:

$$K = N - 1, \quad (4)$$

где  $N$  – количество статических объектов (количество событий).

Сделать вывод о достоверности различий можно лишь в том случае, когда экспериментальное значение  $\chi^2$  превысит критическое значение.

В проведении экспериментов была создана моделирующая программа генераторов программного и аппаратного типов (рис. 1).

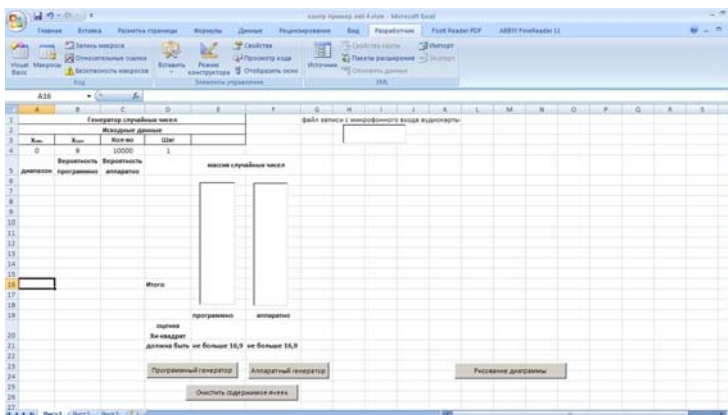


Рис. 1. Внешний вид программы моделирования на языке VBA в среде Excel MS Office

Для проведения эксперимента выбрана программа Excel MS Office со встроенной средой программирования Visual Basic For Applications. Данный программный продукт позволил создать исходный код в виде управляющих подпрограмм (макросов) и внедрять их в электронные таблицы Excel.

Пример макроса программного генератора на языке программирования Visual Basic For Applications:

```
Private Sub CommandButton1_Click()
    Dim x() As Integer, y() As Double
    Dim n As Integer
    Range(Cells(6, 1), Cells(100, 2)).Clear
    summa = 0
    n = [C4]
    If n <= 0 Then
        MsgBox "Введите положительные числа", 48 : Exit Sub
    End If
    ReDim x(0 To n) As Integer
    ReDim y(0 To n) As Double
    ListBox1.Clear
    Call sluchprogr(x, n, ListBox1)
    Cells(5, 1).Activate
    For i = [A4] To [B4] Step [D4]
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate : ActiveCell.Value = i : Next
    For i = [A4] To [B4] Step [D4]
        'программный генератор
        'псч
        'массивы чисел
        'размер выборки массива
        'очистка ячеек таблицы
        'A6:C100
        'обнуление суммы
        'вероятностей
        'получение размера
        'массива
        'проверка ввода
        'положительных чисел
        'переопределение
        'массивов
        'очистка элемента
        'управления
        'от информации
        'вызов функции
        'генератора случайных
        'чисел
        'активация ячейки A5
        'формирование списка
        'диапазона чисел
        'ue = i : Next
        'очистка ячеек
        'результата расчета
    
```

```

y(i) = 0 : Next
For i = [A4] To [B4] Step [D4]
    'вероятность появления
    'случайных чисел
    For j = 1 To n : If x(j) = i Then y(i) = y(i) + 1
    Next : y(i) = y(i) / n : Next
Cells(5, 2).Activate
For i = [A4] To [B4] Step [D4]
    'активация ячейки B5
    'занесение результатов
    'опред-я вероятности
ActiveCell.Offset(1, 0).Activate : ActiveCell.Value = y(i)
summa = summa + y(i) : Next
ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    'занесение суммы
    'вероятностей
ActiveCell.Value = summa
d = 0 : hi = 0
    'вычисления критерия
    'хи-квадрат
For i = [A4] To [B4] Step [D4]
d = (y(i) * n) - n / (([B4] - [A4] + 1) / [D4])
hi = hi + (d * d) / (n / (([B4] - [A4]) / [D4]))
[E20] = hi : Next : End Sub

Public Sub sluchprogr(a() As Integer, kolvo As Variant, obj1 As Object)
    'функция генерации
    'случайных чисел

Dim i As Integer
obj1.Clear
    'очистка элемента
    'управления
    'от информации
Randomize
    'функция случайных чисел
For i = 1 To kolvo
    'создание массивы
    'случайных чисел
a(i) = Int((([B4] - [A4] + 1) * Rnd + [A4]) : obj1.AddItem (Str(a(i)))
Next : End Sub

```

Последовательность выполнения эксперимента:

1. Запуск программного генератора псевдослучайных чисел (кнопка «программный генератор»).
2. Построение диаграммы (кнопка «Рисование диаграммы»).
3. Создание файла звукозаписи (файл тишины) с микрофонного входа звуковой карты компьютера, запустив программу звукозаписи из меню «Пуск» операционной системы Windows со следующими настройками: тип файла→wav; вход→микрофон; профили→Normal quality PCM→44100 Hz→Stereo; громкость→максимум.
4. Сохранение файла звукозаписи (d:\proverka.wav).
5. Запуск аппаратного генератора псевдослучайных чисел (кнопка «аппаратный генератор»).
6. Оценка качества полученных случайных последовательностей по критерию хи-квадрат. Для оценки используется значение  $\chi^2_{\text{крит}}=16,9$ , полученное для  $K$  степеней свободы  $K = 10 - 1 = 9$  и уровня значимости  $P_{0.05}$ .
7. Проведение серии повторных запусков генераторов с целью получения надежных результатов.

Из рис. 2 видно, что оба генератора дают хорошие результаты, которые подтверждаются графически (обе характеристики распределения случайных чисел близки к идеальному варианту (прямая горизон-

тальная линия)) и статистически (критерии хи-квадрат обоих генераторов меньше критического значения  $\chi^2_{\text{эксп.прогр}} = 6,975 < \chi^2_{\text{крит}} = 16,9$  и  $\chi^2_{\text{эксп.аппаратно}} = 7,5024 < \chi^2_{\text{крит}} = 16,9$ ).

При этом значения  $\chi^2$  аппаратного генератора меньше, чем программного, то есть характеристики аппаратного генератора лучше.

Критерии случайности – статистические по своей природе и применяются не к последовательности самой по себе, а к источнику. Поэтому для получения надежных результатов проведена серия тестов на выборках одного источника. Были разработаны методические указания по выполнению лабораторной работы с использованием моделирующей программы генераторов случайных чисел на кафедре «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры». К выполнению экспериментов были привлечены студенты 1-го курса очного и заочного отделения кафедры КРА.

В ходе выполнения получили следующий результат (рис. 2).

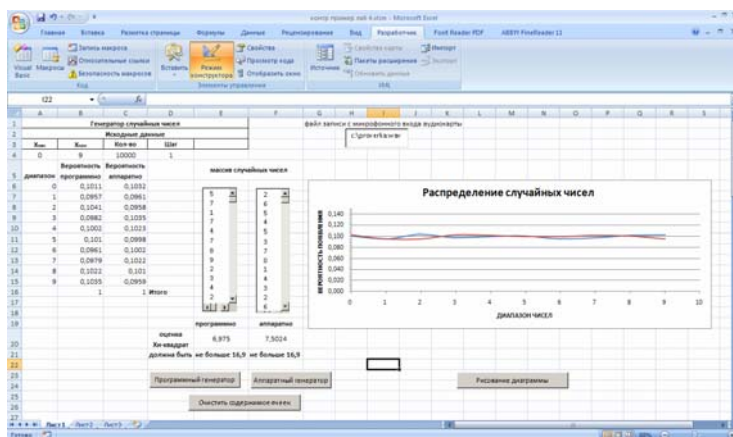


Рис. 2. Программно-аппаратные генераторы случайных чисел

Было проведено свыше 200 экспериментов, большинство из которых прошло предложенный тест. Анализ неудачных опытов выявил причину – наличие в некоторых моделях звуковых карт ограничителей шума, которые в младшие разряды оцифрованного сигнала записывают нули, тем самым убирая источник случайного сигнала.

## Выводы

1. Использование изначально программного генератора ПСЧ в ходе синтеза пассивных фильтров было оправдано использованием языков

программирования со штатными (по умолчанию) линейными конгруэнтными генераторами.

2. Использование аппаратного генератора случайных чисел возможно и даже желательно при синтезе электрических схем. При этом в качестве источника случайного шума выступает звуковая карта обычного ноутбука или планшета.

### Список литературы

1. Маркин, Н. С. Основы теории обработки результатов измерения. – М. : Эксмо, 2014. – 245 с.
2. Жельников, В. С. Псевдослучайные последовательности чисел // Криптография от папируса до компьютера. – М. : АБФ, 1996. – 335 с.
3. Кнут, Д. Э. Случайные числа // Искусство программирования = The Art of Computer Programming. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2000. – Т. 2. Получисленные алгоритмы. – 832 с.
4. Бобнев, М. П. Генерирование случайных сигналов и измерение их параметров. – М. : Энергия, 1966. – 120 с.
5. Грошев, А. С. Программирование на языке Microsoft Visual Basic for Applications / Методические указания к выполнению лабораторных работ. – Архангельск : Издательство Архангельского государственного технического университета, 2013. – 35 с.
6. Демидова, Л. А. Программирование в среде Visual Basic for Applications. Практикум / Л. А. Демидова, А. Н. Пылькин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2014. – 175 с.
7. Осетрова, И. С. Microsoft Visual Basic for Applications : учеб. пособие / И. С. Осетрова, Н. А. Осипов. – СПб. : Изд-во НИУ ИТМО, 2013. – 130 с.

## Application of hardware-software pseudorandom number generators to synthesize passive electric filters by means of genetic algorithms

**Abstract.** *Synthesis of passive electrical filter is to choose the best scheme of a large number of initial options schemes-the-blanks. The genetic algorithm can significantly speed up finding the optimal variant. But it should be deleted in the original topology systematic errors, leading to divergence of the algorithm. Create a software and hardware random number generators has decided the issue. It was developed simulator GSPCH and a series of ex-ments, as well as the estimation of the reliability of the results.*

**Keywords:** passive filters synthesis schemes, genetic algorithm, random number generator.

## **Перспективы применения информационных технологий на производстве радиоэлектронной аппаратуры**

*В статье рассматривается программное обеспечение для схемотехнического моделирования и применение компьютеров в качестве измерительных приборов.*

**Ключевые слова:** Multisim, Circuit Simulator, входной делитель, Digital Oscilloscope.

### **Введение**

В связи с развитием информационных технологий встает вопрос о принципах конструирования радиоэлектронной аппаратуры и о принципах построения рабочих мест для регулировочных работ с электронными изделиями. Программы схемотехнического моделирования помогут конструкторам увидеть все свои ошибки в первую очередь в самой программе, не затрачивая средства и время на разработку и изготовление «черновых» вариантов электронных изделий, а использование компьютеров в качестве измерительных приборов может сократить расходы на создание рабочего места для регулировщика РЭАиП. К тому же регулировщик сможет на компьютере смоделировать схему в программе схемотехнического моделирования на том же компьютере для удобства его работы.

### **Программы схемотехнического моделирования**

Для примера немного ознакомлю с двумя программами – “Multisim” и “Circuit Simulator”.

#### ***Multisim***

MultiSim – средство разработки и моделирования электронных схем. NI Multisim позволяет создать схему, используя обширную библиотеку компонентов, и эмулировать поведение интегральной схемы с помощью стандартного промышленного симулятора SPICE. Начиная с версии 10.1 в Multisim интегрирован MCU Module, позволяющий добавить в SPICE-эмулированную интегральную схему микрокон-

троллер и запрограммировать его на С или Ассемблере. Эту возможность оценят студенты, научившись работать с микроконтроллерами Intel/Atmel 8051/8052 и Microchip PIC16F84a. Модуль позволяет эмулировать работу интегральной схемы с микроконтроллером и различными дополнительными устройствами: RAM, ROM, клавиатурой, а также графическими и буквенно-цифровыми жидкокристаллическими дисплеями. На рис. 1 представлен скриншот из программы “Multisim”.

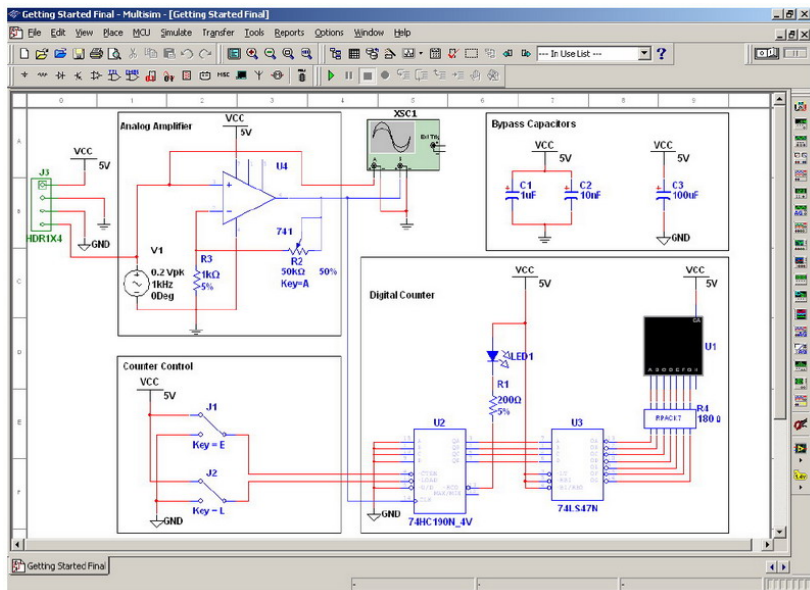


Рис. 1. Программа “Multisim”

Плюсы:

- 1) высокая точность показаний;
- 2) большая элементная база (за счет реальных моделей радиоэлементов);
- 3) может автоматически рисовать разводку печатных проводников, опираясь на схему электрическую принципиальную, нарисованную в самой программе;
- 4) имеет множество виртуальных приборов (мультиметр, функциональный генератор, ваттметр, осциллограф, частотомер и т. д.);
- 5) имеет приборы из программы LabVIEW.



Минусы:

- 1) изменения в схеме невозможны до остановки работы схемы;
- 2) малая база готовых популярных схем.

### ***Circuit Simulator***

Это приложение – симулятор электронных схем. Имеет на борту осциллограф, которым можно смотреть форму сигнала в любой точке.

Меню «Схемы» содержит множество примеров схем, которые вы можете попробовать. Комплект схем содержит набор из 279 готовых к симуляции схем, начиная от простейшего усилителя и заканчивая дельта-сигма АЦП.

На рис. 2 представлен скриншот из программы “Circuit Simulator”.

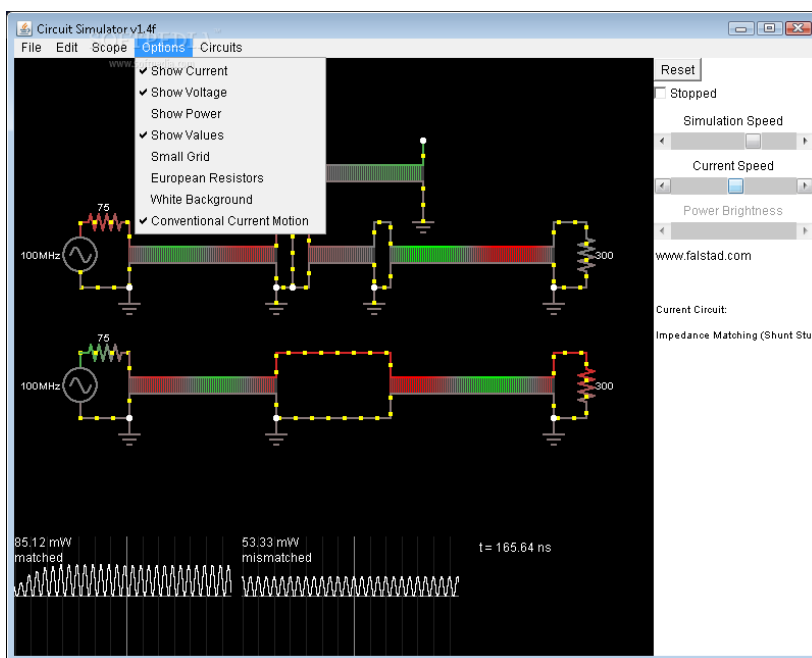


Рис. 2. Программа “Circuit Simulator”

Когда приложение запустится, вы увидите анимированную схему простого RLC колебательного контура. Зеленый цвет показывает положительное напряжение. Серый цвет показывает заземление. Красный цвет показывает отрицательное напряжение. Движущиеся желтые точки показывают, как и куда течет ток. Для того чтобы включить или

выключить переключатель, просто кликните на него. При наведении мышки на элемент вы увидите подробное описание его состояния в правом нижнем углу. Для изменения компонента кликните на нем правой кнопкой мыши (или control+click для “Mac OS”) и выберете пункт «Редактировать».

Программа – java-апплет. Поэтому не будет у вас работать без установленной Java-Sun-машины.

Плюсы:

- 1) очень понятно анимируются направления течения токов;
- 2) малый вес программы;
- 3) возможность изменять параметры радиоэлементов, не останавливая работы схемы;
- 4) легко импортируются и экспортируются схемы;
- 5) малый вес сохраненных схем;
- 6) существует версия для Android- и IOS-устройств;
- 7) имеется база готовых популярных схем.

Минусы:

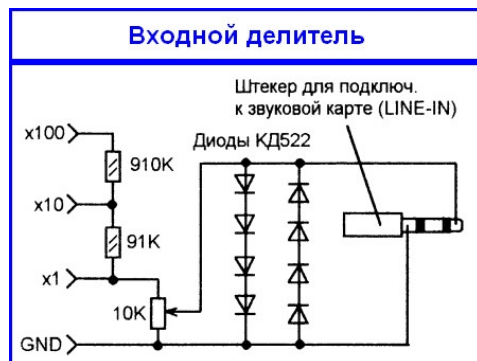
- 1) фон осциллограмм не удобен для работы с ними;
- 2) единственный измерительный прибор – осциллограф;
- 3) нет реальных моделей радиоэлементов;
- 4) для работы нужно программное обеспечение для поддержки java-приложений.

### **Использование компьютеров в качестве измерительных приборов**

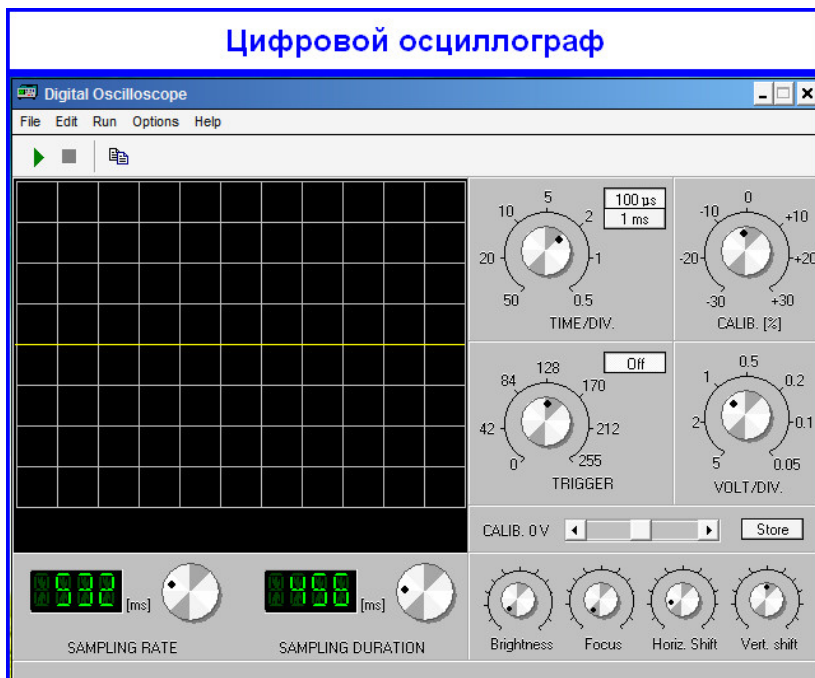
Есть два способа превращения персонального компьютера в осциллограф. Можно купить или сделать приставку, которую подключать к ПК. Приставка будет представлять собой АЦП, программно-управляемый. А на ПК установить соответствующую программу. Но это затратный способ. Второй способ обойдется намного дешевле. В любом ПК есть уже АЦП и ЦАП – звуковая карта. Используя ее, можно компьютер преобразовать в простой низкочастотный осциллограф только установкой программного обеспечения, и придется создать простой входной делитель.

Существует схема входного делителя (рис. 3), в совокупности с которой компьютер со специальной программой, например “Digital oscilloscope” (рис. 4) или “Sound Card Oscilloscope” (рис. 5), может работать как измерительный прибор.

Подключив делитель, показанный на рис. 3, к линейному входу звуковой карты ПК и включив нужные программы, компьютер уже готов к работе в качестве измерительного прибора.



*Рис. 3.* Схема входного делителя  
для подключения электронного изделия к компьютеру



*Рис. 4.* Программа “Digital oscilloscope”

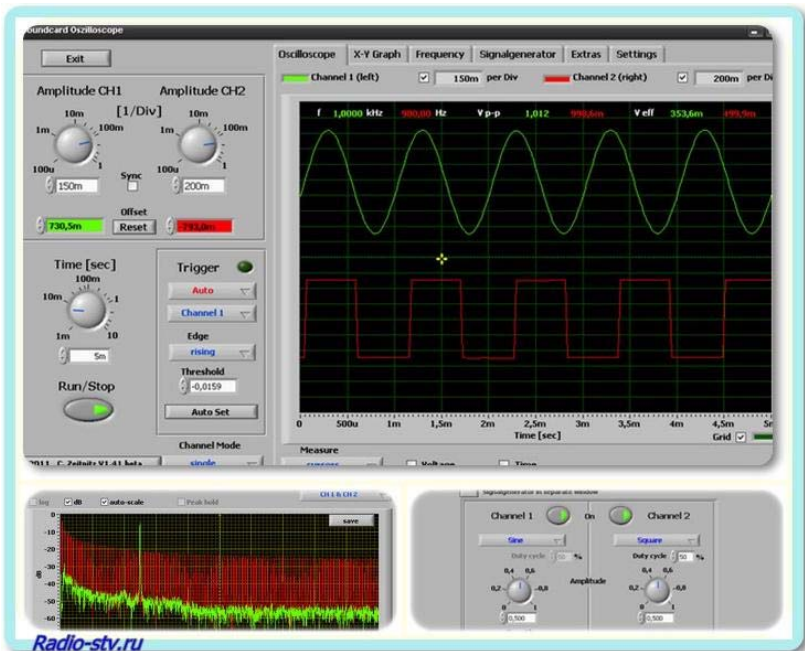


Рис. 5. Программа “Sound Card Oscilloscope”

## Выводы

Необходимо изменять стандартные методы построения рабочих мест для регулировки и конструирования радиоэлектронной аппаратуры.

Изменять так, чтобы регулировщик РЭАиП мог иметь недорогой компьютер на рабочем месте, используемый в качестве измерительного прибора и используемый для моделирования схем. В ближайшем будущем этого не должно быть на каждом рабочем месте регулировщика, т. к. компьютер на данный момент в совокупности со специальными программами не может подходить по всем требованиям, которые могут быть предъявлены к регулируемым изделиям, но на многих рабочих местах они могут заменить некоторые измерительные приборы. Но и на тех рабочих местах, где компьютер не подойдет в качестве измерительного прибора, можно регулировщика снабдить недорогим Android- или iOS-устройством, где он смог бы моделировать схему в программе “Circuit Simulator”. Ну а конструктора снабдить только

программным обеспечением для моделирования разрабатываемых схем.

Таким образом, применение современных информационных технологий позволит уменьшить затраты и время на производство радиоэлектронной аппаратуры.

### Список литературы

1. Моделирование схем в программе Multisim [Электронный ресурс] // Основы электроники [Сайт]. – URL: <http://www.sxemotehnika.ru/zhurnal/modelirovanie-skhem-v-programme-multisim.html> (дата обращения: 25.05.2016).

2. Electronic circuit simulation [Электронный ресурс] // Wikipedia [Сайт]. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_circuit\\_simulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_circuit_simulation) (дата обращения: 25.05.2015).

3. Программа «Компьютер – осциллограф» [Электронный ресурс] / Радиолюбитель [Сайт]. – URL: [http://radio-stv.ru/radio\\_tehnologii/izuchenie-radio-programm/programma-kompyuter-ostsillograf](http://radio-stv.ru/radio_tehnologii/izuchenie-radio-programm/programma-kompyuter-ostsillograf) (дата обращения: 25.05.2016).

## Perspectives of application of programs of circuitry simulation in educational and production process

**Abstract.** *The software for circuitry simulation and use of computers as measuring instruments is considered in the article.*

**Keywords:** Multisim, Circuit Simulator, input divider, Digital Oscilloscope.

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

УДК 620.179.16

*И. В. Булдакова*, аспирант

*М. А. Габбасова*, аспирант

*О. В. Муравьева*, д-р техн. наук, проф.

*Ю. О. Кошечева*, студентка

*Г. Л. Пушина*, студентка

E-mail: pmkk@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

### **Корреляционный анализ осциллограмм при контроле прутков зеркально-теневым электромагнитно-акустическим методом**

*В статье предложено использование коэффициентов корреляции в качестве новых информативных параметров при определении скорости акустической волны, оценке степени дефектности и глубины залегания дефекта при контроле цилиндрических объектов электромагнитно-акустическим зеркально-теневым методом на многократных отражениях.*

**Ключевые слова:** зеркально-теневой электромагнитно-акустический метод, многократные отражения, корреляционный анализ, скорость, глубина залегания дефекта.

#### **Введение**

Применение корреляционного анализа в технике весьма разнообразно. Метод успешно используют при обработке сигналов электромагнитных и звуковых волн, в частности, в задачах радиолокации при определении параметров движения цели [1], в сейсморазведке при определении координат источника сейсмоактивности. В неразрушающем (НК) акустическом контроле корреляционный анализ используется для решения задач ультразвуковой (УЗ) толщинометрии [2], структуроскопии [3, 4], вибродиагностике [5], локализации источников акустической эмиссии [6] и позволяет с помощью автокорреляционной функ-

ции определять степень сходства формы двух сигналов, и их взаимное расположение друг относительно друга по координате [1]. В ряде случаев представляется возможность обнаружить полезный сигнал на фоне высокого уровня помех [1].

В статье исследована возможность использования корреляционной функции в качестве информативного параметра при обнаружении дефектов прутков при зеркально-теновом электромагнитно-акустическом методе контроля на многократных отражениях.

### Используемые подходы

В качестве исследуемых объектов использованы стальные цилиндры диаметром  $d = 22$  мм с боковыми цилиндрическими продольными сверлениями диаметром 2 мм, расположенными на различной глубине  $h$  от поверхности (рис. 1). При измерениях использована специализированная экспериментальная установка, обеспечивающая возбуждение, излучение и прием поперечных волн радиальных направлений по сечению прутка, а также регистрацию и сохранение сигналов во временной области с частотой дискретизации 500 МГц при 8-битной разрядности АЦП [7–8].

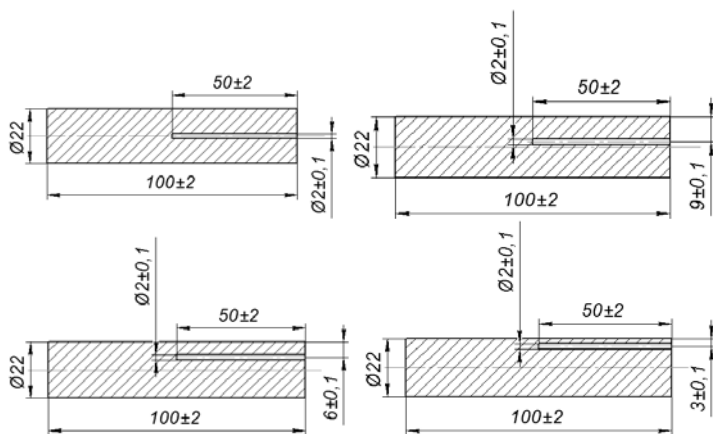


Рис. 1. Эскизы исследуемых образцов прутков с боковыми цилиндрическими сверлениями

На рис. 2 представлены подлежащие корреляционному анализу результаты регистрации импульсов УЗ-волн, многократно переотраженных по диаметрам поперечного сечения прутка для бездефектного цилиндра и для цилиндров с искусственными дефектами на глубинах

$h = 6$  мм,  $h = 9$  мм,  $h = 10,5$  мм. Наличие дефекта в объекте приводит к увеличению ослабления серии многократных отражений в сравнении с бездефектным объектом, при этом чувствительность к дефектам повышается по мере приближения дефекта к центру образца (зоне фокуса). Отметим наличие регулярной особенности серии многократных отражений, состоящей в смене фазы при каждом отражении на  $\pi/4$  относительно предыдущего.

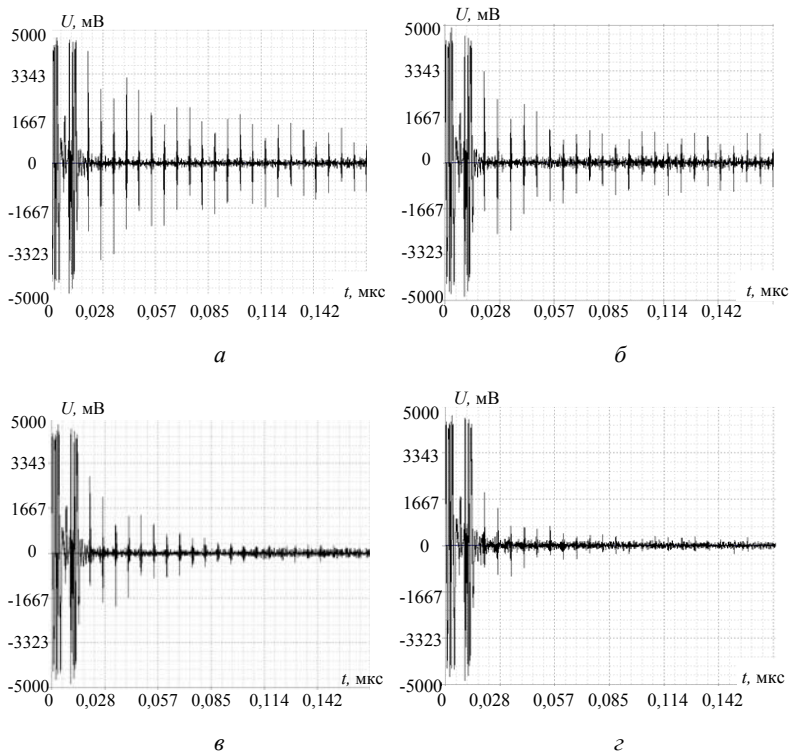


Рис. 2. Зарегистрированные сигналы для бездефектного образца (а) и образца с искусственными дефектами на глубине  $h = 6$  мм (б),  $h = 9$  мм (в),  $h = 10,5$  мм (г)

Метод корреляционного анализа использован для сравнения принятых эхограмм сигналов на бездефектном образце и образце с искусственным дефектом путем вычисления значения максимального значения взаимной корреляционной функции  $R_{fg}$  (ВКФ) или коэффициента корреляции по формуле [1]:



$$R_{fg}(\Delta t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x - \Delta t)g(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)g(x + \Delta t)dx, \quad (1)$$

где  $f(x)$  и  $g(x)$  – два сравниваемых сигнала;  $\Delta t$  – временной сдвиг между сигналами.

Вычисление функции автокорреляции производится в программной среде *Mathcad* с помощью встроенной функции '*corr*'.

### Результаты и обсуждение

Корреляционный анализ может быть использован для определения скорости  $C$  УЗ-волны. Метод основан на определении временного сдвига  $\Delta t_{R_{\max}}$  между двумя  $n$ -м и  $m$ -м отраженными импульсами, соответствующего максимальному значению коэффициента корреляции  $R_{\max}$ :

$$C = \frac{D(m-n)}{(t_m - t_n) \pm \Delta t_{R_{\max}}}, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр прутка;  $t_n, t_m$  – начальное время соответствующих импульсов, принятое при анализе.

Метод обеспечивает высокую точность определения скорости УЗ-волны, что позволяет использовать указанную характеристику в качестве структурно-чувствительного параметра материала.

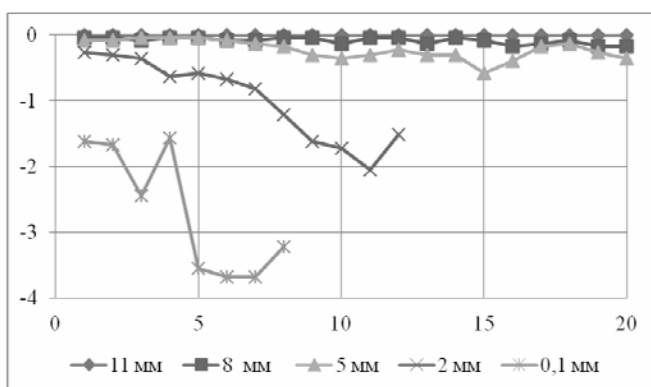


Рис. 3. Зависимость коэффициента корреляции, выраженного в дБ относительно бездефектного образца, от номера отражения для образцов с дефектами на различной глубине  $h$

В соответствии с формулой (1) рассчитаны значения коэффициентов корреляции между соответствующими отражениями в сигнале, полученном на бездефектном образце и образцах с искусственными дефектами. Коэффициенты корреляции, выраженные в дБ относительно бездефектного образца, в зависимости от номера отражения для образцов с искусственными дефектами на различной глубине иллюстрирует рис. 3. С увеличением номера отражения неравномерность в поведении коэффициента корреляции усиливается, при этом, чем глубже дефект, тем меньше значение ВКФ и тем больше ее разброс. Последнее обусловлено появлением искажений в форме отраженных сигналов, обусловленных отклонениями от прямолинейности пути УЗ-волны при наличии дефекта. Чем ближе к центру дефект, тем больше отклонений в распространении волны наблюдается.

Зависимости коэффициента корреляции от глубины залегания дефекта для различных значений номера отражения  $n$  кратных четверем (1, 5, 9, 14, 17) представлены на рис. 4. Анализ кривых рис. 4 показывает, что дальние отражения обеспечивают более крутую зависимость от глубины  $h$ , что может служить косвенным признаком глубины залегания дефекта при реализации зеркально-теневого метода контроля. Отметим, что в практике УЗ-контроля считается, что зеркально-теновый метод не позволяет определять координату дефекта.

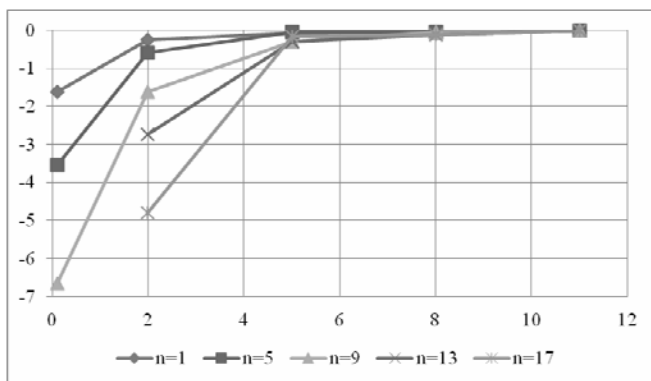


Рис. 4. Зависимость коэффициента корреляции, выраженного в дБ относительно бездефектного образца, от глубины залегания дефекта для номеров отражений  $n$ , кратных четверем

Предложенный метод корреляционного анализа для обработки осциллограмм многократных отражений позволил обосновать дополни-

тельные информативные параметры при реализации зеркально-теневое метода контроля прутков. В частности:

1) предложить способ определения скорости распространения УЗ волны, как структурно-чувствительного параметра, обеспечивающий высокую точность за счет оценки временного сдвига между отраженными импульсами, соответствующего максимуму ВКФ;

2) оценить дефектность прутка и глубину залегания дефекта по анализу разброса коэффициентов корреляции во всем диапазоне отраженных импульсов в сравнении с эталонным образцом.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 15-19-00051).*

### Список литературы

1. *Першин, В. Т.* Основы радиоэлектроники и схемотехники : учеб. пособие для студентов вузов. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 544 с.
2. *Самокрутов, А. А.* А1207 – ультразвуковой толщиномер нового поколения / А. А. Самокрутов, В. Г. Шевалдыкин, В. Н. Козлов, С. Г. Алехин, И. А. Мелешко, П. С. Пастушков // В мире НК. – 2001. – № 2(12). – С. 23–24.
3. *Муравьев, В. В.* Оценка остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес методом акустоупругости / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, Е. Н. Балобанов // Дефектоскопия. – 2013. – № 7. – С. 22–28.
4. *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.
5. *Пономарева, О. В.* Цифровой периодограмм-анализ и проблемы его практического применения / О. В. Пономарева, В. А. Алексеев, А. В. Пономарев // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашников. – 2013. – № 2(58). – С. 130–133.
6. *Буйло, С. И.* Корреляционный анализ и метод инвариантов сигналов акустической эмиссии в диагностике предразрушающего состояния материалов / С. И. Буйло, С. В. Орлов // Дефектоскопия. – 2014. – № 8. – С. 36–41.
7. *Стрижак, В. А.* Информационно-измерительная система возбуждения, приема, регистрации и обработки сигналов электромагнитно-акустических преобразователей / В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, С. А. Обухов, А. Б. Ефремов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 243–250.
8. *Муравьева, О. В.* Оптимизация систем подмагничивания проходных электромагнитно-акустических преобразователей объемных волн для неразрушающего контроля пруткового проката / О. В. Муравьева, В. В. Муравьев, Е. Н. Кокорина, В. Д. Стерхов, Д. В. Малютин // Датчики и системы. – 2013. – № 2. – С. 2–9.

## **Oscillogram correlation analysis in mirror through transmission electromagnetic-acoustic testing technique of rods**

**Abstract.** *The application of correlation coefficients as new informative parameters in acoustic wave velocity measurement and estimation of defectiveness rate and defect location depth during cylindrical object testing by electromagnetic-acoustic mirror through transmission technique on multiple reflections is offered in this article.*

**Keywords:** mirror through transmission electromagnetic-acoustic testing, multiple reflection echo, correlation analysis, velocity, depth of defect.

## **Перспективы развития СВЧ-микродэлектроники на заводе микродэлектронных технологий**

*Рассмотрены перспективы тонкопленочной технологии для гибридных интегральных схем СВЧ-диапазона. Проведено сравнение с конкурирующими технологиями, в том числе печатными платами, платами на ЛТСС-керамике, монолитными интегральными схемами.*

**Ключевые слова:** СВЧ-микродэлектроника, перспективы развития, тонкопленочная технология.

Определение перспектив развития СВЧ-микродэлектроники является очень важным для производителей, так как правильное решение этого вопроса позволит в свою очередь принять правильное решение при определении стратегии развития и вложении финансовых средств.

По перспективам развития тонкопленочной технологии существуют противоречивые мнения у разработчиков СВЧ-техники. СВЧ-техника сейчас бурно развивается в связи с развитием аппаратуры радиоэлектронной борьбы (РЭБ), которая в свою очередь получила мощный импульс развития в связи с необходимостью ответных мер на угрозы глобального удара, на ускоренное развитие техники РЭБ у вероятного противника. Если ранее СВЧ-приборы создавались, как правило, на платах, созданных по тонкопленочной технологии, благодаря подходящим параметрам поликора (высокая диэлектрическая проницаемость, низкие потери, хорошая теплопроводность), то теперь у этой технологии появились серьезные конкуренты. Это в первую очередь печатные платы, низкотемпературная керамика (ЛТСС), монолитные интегральные схемы (МИС). Как направление развития можно рассматривать технологию внутреннего монтажа.

Печатные платы обладают определенными преимуществами перед микродэлектроникой:

– благодаря механизации процессов, изготовление печатных плат обходится существенно дешевле на единицу площади, чем тонкопленочных;

– конструкция печатной платы может содержать больше слоев, чем у тонкопленочной платы;

– появление новых материалов типа роджерс с существенно меньшими потерями, чем у обычных стеклотекстолитов, позволяет печатным платам соперничать с поликором в области СВЧ.

Что касается размеров проводников и зазоров, то у западных фирм уже рекламируется размер 50 мкм и меньше, что сопоставимо с возможностями тонкопленочной технологии. Справедливости ради следует отметить, что российские производители пока в лучшем случае могут заявлять о 100 мкм, а переход от 100 мкм к 50 мкм требует очень больших финансовых затрат. Есть и другие проблемы в переходе к печатным платам – это низкая теплопроводность стеклотекстолита по сравнению с поликором, что создает проблему теплоотвода, особенно важную в СВЧ-технике и существенно разные коэффициенты термического расширения (КТР) у стеклотекстолита и монтируемых элементов. Для поликора эта разница гораздо меньше. Разработчики СВЧ-оборудования выделяют еще проблему качества поверхности, которая у поликора существенно выше, чем у стеклотекстолита.

Кроме вышеперечисленного дискутируется проблема обобщенного плана, а именно область частот, в которой способны работать печатные платы и тонкопленочные платы. Здесь также нет единого мнения. Есть крупные специалисты, считающие, что область работы печатных плат ограничена диапазоном 10–15 ГГц, в то время как специалисты, например, фирмы ОСТЕК приводят данные о китайских печатных платах, работающих на частотах до 70 ГГц. Американцы рекламируют материал на основе жидкокристаллического полимера, способный работать на частотах до 100 ГГц.

Несмотря на эти проблемы, многие разработчики переходят к печатным платам от тонкопленочных, оставляя лишь устройства, в которых требуются малые размеры проводников и зазоров, не достижимые пока на печатных платах (30–50 мкм). Такими устройствами, как правило, являются фильтры, мосты Ланге и некоторые другие.

Что касается микросборок на низкотемпературной керамике (LNCC, температура спекания до 850 °С), то их высокие параметры, а именно: возможность работы на частотах до 40 ГГц; многослойность конструкции; возможность использовать встроенные элементы; низкий КТР, близкий к КТР полупроводниковых кристаллов; высокая теплопроводность и др. – привели к тому, что целый ряд российских предприятий приобрел достаточно дорогостоящие комплекты оборудования для освоения технологии микросборок на низкотемператур-

ной керамике. В то же время внедрение этой технологии тормозится многими факторами:

- в отличие от микросборок на платах ошибка при конструировании или изготовлении уже не исправима;

- подгонять параметры схемы с помощью индиевой фольги, как это делается на тонкопленочных платах и к чему привыкли регулировщики, невозможно;

- у конструкторов отсутствует опыт проектирования плат и сборок из керамики, которая при спекании существенно изменяет размеры;

- отсутствие российских изготовителей исходных материалов приводит к образованию зависимости от импорта, что сейчас, в условиях санкций, является крайне неблагоприятным фактором.

В результате крупных разработок микросборок в России с использованием ЛТСС керамики немного. Наиболее известные из них – приемо-передающие модули для АФАР-истребителей СУ-35, изготовленные томским НИИПП.

К числу конструкций и технологий, которые являются направлением, способным потеснить тонкопленочную технологию, можно отнести монолитные СВЧ-интегральные схемы (МИС).

В этих схемах активные и пассивные СВЧ-компоненты изготавливаются на одном кристалле и в едином технологическом цикле. Эта технология открыла перспективы создания более сложных, более высокочастотных СВЧ-систем с повышенной надежностью, меньшим весом и габаритами, в том числе наземных и бортовых систем радиолокации с активными фазированными решетками (АФАР). Это, как правило, законченные модули широкополосных усилителей, фазовращателей и других устройств, ранее выполнявшиеся на дискретных элементах, монтируемых на тонкопленочных платах. Для выполнения субмодулей, в которых монтируются эти кристаллы, используются печатные платы или тонкопленочные платы. Таким образом, использование МИС существенно уменьшает объем использования тонкопленочных плат или вообще исключает их использование. Это направление развивается, но для внедрения этой технологии, включающей формирование активных элементов на кристалле, требуется существенное вложение финансовых средств.

Что касается внутреннего монтажа, то это не конкурентная по отношению к тонкопленочным платам технология, а одно из направлений развития тонкопленочной технологии. Исторически так сложилось, что термин «внутренний монтаж» применяют, как правило, при монтаже пассивных элементов и кристаллов внутрь тонкопленочных микросборок, в то время как аналогичный монтаж внутрь печатных

плат называют 3D-монтажом. Иногда используется и другая терминология. По сути, это близкие процессы, а именно, при монтаже кристаллов в том и другом случае кристалл утапливается в тело платы или подложки, как правило, вверх контактными площадками выводов. После нанесения защитного покрытия (для микросборок в последнее время практикуется параксиллен, для печатных плат это может быть препрег) в этом покрытии вскрываются окна над контактными площадками (лазером, плазмой или другими способами) и напылением через маску формируются проводники, соединяющие выводы кристалла с другими элементами цепи. Эта технология работает, в частности, на фирмах, изготавливающих мобильные телефоны, т. к. позволяет существенно уменьшить размеры изделий. В России этим направлением занимается центр радиоэлектронных технологий (ЦРЭТ), базирующийся в настоящее время при заводе «Темп» (г. Москва).

Имеется много рекламной информации по этому направлению, но в области СВЧ-техники заметных результатов пока нет.

По каждому из рассмотренных направлений на заводе микроэлектронных технологий, входящем в корпорацию «Аксион», ведется работа по отслеживанию их развития, чтобы быть готовыми к своевременной подготовке.

### Список литературы

1. *Медведев, А. М.* Печатные платы. Конструкция и материалы. – М. : Техносфера, 2005. – 304 с.

2. *Кондратьев, Р.* Низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (LTCC). Преимущества. Технология. Материалы // Степень интеграции. Информационный бюллетень. – 2011. – № 5. – С. 14–17.

3. *Темнов, А. М.* Комплект широкополосных СВЧ-микросхем на гетероструктурах  $A^{III}B^V$  для ППМ АФАР X-диапазона / А. М. Темнов, К. В. Дудинов, В. А. Красник, Ю. М. Богданов, А. В. Кругов, В. Г. Лапин, С. В. Щербаков // Электронная техника. Серия 1: СВЧ-техника. – 2010. – № 2(505). – С. 30–49.

## Prospects for the development of microwave microelectronics on the plant of microelectronic technologies

**Abstract.** *Some perspectives of thin film technology for hybrid integrated circuit are reviewed. The comparison with the competing technologies is done, including circuit plates, LTCC ceramic plates, monolithic integrated circuits.*

**Keywords:** microwave microelectronics, perspectives of thin film technology.



Д. В. Злобин, канд. техн. наук, доц.

Л. В. Гущина, магистрант

E-mail: sined2@mail.ru, sssogyforme@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Контроль линейно-протяженных объектов с использованием крутильной волны

*Описана разработанная система акустических преобразователей, реализующая волноводную методику неразрушающего контроля прутков с использованием крутильной волны. Показаны преимущества методики и преобразователей, по сравнению с применением стержневой моды  $S_0$ .*

**Ключевые слова:** акустический контроль, крутильная волна, излучающие и приемные преобразователи.

Реализованные до сегодняшнего времени методики контроля линейно-протяженных объектов предполагают использование моды  $S_0$  для объектов типа «пруток» и крутильной волны для труб (дефектоскопы АДП, АДНШ, АДНКТ, описанные в [1]). В то же время представляет интерес использование крутильной волны для контроля прутков, что обусловлено следующими причинами:

Крутильная волна обладает повышенной чувствительностью к дефектам, особенно расположенным вблизи поверхности объекта контроля.

В соответствии с закономерностями распространения акустических волн в волноводах отражение от дефектного участка прутка определяется изменениями его поперечного сечения  $S$ , скорости волны  $C$  и плотности  $\rho$  (изменением механического импеданса стержня  $Z = S\rho C$ ), а коэффициент отражения по амплитуде описывается следующим выражением [2]:

$$R = \frac{S_2\rho_2C_2 - S_1\rho_1C_1}{S_2\rho_2C_2 + S_1\rho_1C_1}. \quad (1)$$

В случае контроля с использованием моды  $S_0$  дефект, представляющий собой перепад сечения прутка, не влияет на плотность мате-

риала и скорость распространения волны и коэффициент отражения волны в этом случае описывается выражением:

$$R = \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1}. \quad (2)$$

При контроле на крутильной волне в месте дефекта происходит локальное изменение скорости, величина которого может быть описана выражением:

$$R = \sqrt{\frac{\mu U_k}{\rho I}} = C_t \sqrt{\frac{I_k}{I}}, \quad (3)$$

где  $I_k$  – крутильный момент инерции;  $I$  – момент инерции дефектного участка относительно оси прутка. Вследствие этого крутильная волна является более чувствительной к дефектам. Кроме того:

– Отсутствие дисперсии в крутильной волне позволяет реализовать метод многократных отражений.

– Более низкая скорость крутильных волн обеспечивает лучшее пространственное разрешение.

В целях исследования возможностей методики контроля крутильными волнами была разработана система преобразователей, реализующих излучение и прием волны данного типа. Излучающий преобразователь реализует электромагнитно-акустический (ЭМА) метод и представляет собой постоянный магнит с обмоткой, отделенной от поверхности объекта изолирующим слоем, с габаритными размерами  $30 \times 25 \times 10$  мм. Конструкция преобразователя представлена на рис. 1.

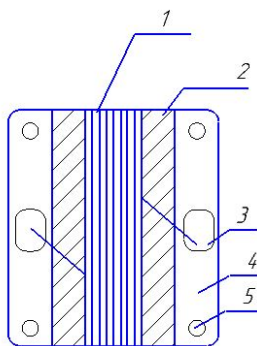


Рис. 1. Излучающий ЭМА-преобразователь: 1 – обмотка; 2 – постоянный магнит; 3 – контактные площадки; 4 – фиксирующая опора; 5 – крепежные отверстия

Приемный пьезопреобразователь (ПЭП) с габаритами 15×10×3 мм, реализован с использованием пьезоэлектрической пластины, закрепленной на металлическом основании. ПЭП устанавливается на объект контроля таким образом, что поперечное смещение крутильной волны трансформируется в деформации растяжения-сжатия пьезопластины.

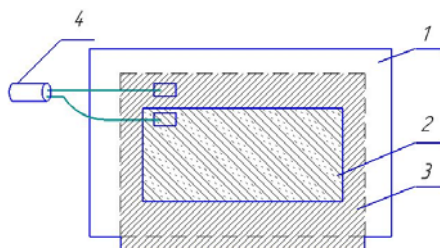


Рис. 2. Приемный пьезопреобразователь: 1 – изолирующий слой; 2 – приемная пьезопластина; 3 – контактное основание; 4 – коаксиальный кабель

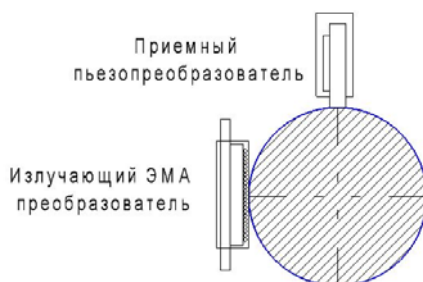


Рис. 3. Схема расположения датчиков на объекте контроля

Конструкция приемного преобразователя представлена на рис. 2. Расположение датчиков на ОК показано на рис. 3.

Использование данной системы преобразователей имеет следующие преимущества:

- Отсутствует необходимость наличия ровного торца объекта контроля и применения контактной жидкости.
- Малая площадь контакта преобразователей обеспечивает минимальное вносимое затухание.
- Фиксация приемного ПЭП происходит за счет магнитного поля излучающего преобразователя.
- Приемный ПЭП обеспечивает в случае перпендикулярного расположения к оси прутка высокую чувствительность к моде  $S_0$ .

На рис. 4, *a* и *б* показаны серии импульсов крутильной волны, полученных на бездефектном прутке и на прутке с установленным имитатором дефекта. Наблюдается уверенная локализация дефекта на первом отражении и рост амплитуды импульса на последующих отражениях.

Отсутствие ревербераций в системе преобразователей обеспечивает правильную форму импульса и малую величину мертвой зоны (рис. 5, *a*, *б*).

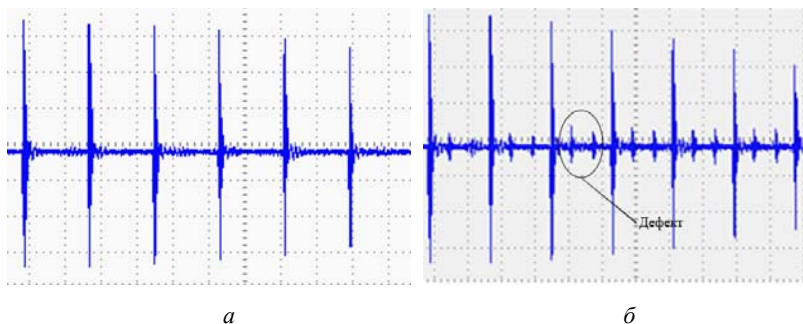


Рис. 4. Серии импульсов крутильной волны, полученных на бездефектном прутке (*a*) и на прутке с установленным имитатором дефекта (*б*)

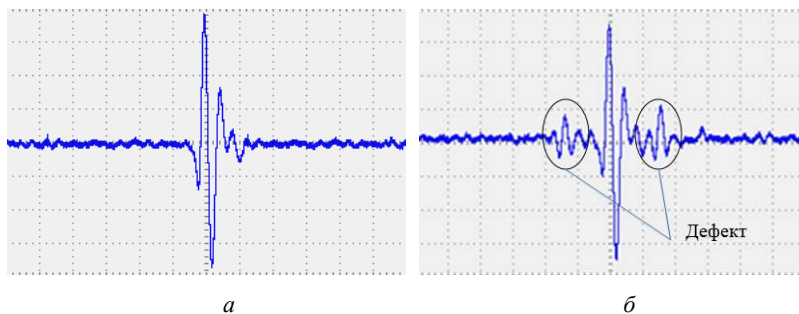


Рис. 5. Одиночные импульсы: бездефектного прутка (*a*); прутка с имитатором дефекта, установленным на расстоянии 20 см от торца (*б*)

Исследования показали, что на первом отражении уверенно фиксируется дефект с амплитудой в 1 % от донного сигнала.

Учитывая более высокую чувствительность крутильной волны, использование метода многократных отражений, а также возможность оптимизации АЧХ усилительного тракта, можно утверждать, что опи-

санная система преобразователей обеспечивает более высокую выявляемость дефектов, чем при использовании моды  $S_0$  и контактного преобразователя, располагающегося на торце прутка.

*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.*

### Список литературы

1. Буденков, Г. А. Комплексная технология дефектоскопии и упрочнения насосных штанг / Г.А. Буденков, О.И. Шаврин, Н.А. Кокорин, О.В. Недзвецкая // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2002. – № 3. – С. 16–18.
2. Буденков, Г. А. Взаимодействие крутильных волн с продольными трещинами труб / Г. А. Буденков, О. В. Муравьева, С. А. Мурашов, Д. В. Злобин // Дефектоскопия. – 2006. – № 6. – С. 58–66.
3. Буденков, Г. А. Эффективность использования стержневых и крутильных волн для контроля пруткового проката / Г. А. Буденков, О. В. Муравьева, Д. В. Злобин, Т. Н. Лебедева // Дефектоскопия. – 2004. – № 3. – С. 3–9.

## Control of linearly extended objects by using torsional wave

**Abstract.** *Was described the developed system of acoustic transducers implementing waveguide technique for non-destructive control bar, using of torsional wave. The advantages of the technique and converters compared with the use a rod mode  $S_0$ .*

**Keywords:** acoustic testing, torsional wave, emitting and receiving transducers.

*Р. И. Комарский*, курсант

E-mail: raf.niz@yandex.ru

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)

## **Конструирование бытового дозиметра с улучшенными характеристиками**

*Приводится анализ работы по конструированию и исследованию возможностей применения бытового дозиметра. Приводится его сравнительный анализ с известными аналогами и определяются направления его дальнейшего совершенствования.*

**Ключевые слова:** дозиметр, радиация, ионизирующее излучение, газоразрядный счетчик, схема электрическая принципиальная.

### **Введение**

В настоящее время в Российской Федерации действует 10 атомных электростанций. В связи с ростом потребления электроэнергии осуществляется строительство трех новых АЭС: Ленинградской АЭС-2, Балтийской АЭС, АЭС «Академик Ломоносов» (первая в России плавучая АЭС, ввод в эксплуатацию планируется в г. Вилючинске Камчатского края в 2016 г.) [1]. Несмотря на то, что проектировщики гарантируют экологическую безопасность выполняемых работ, у проживающего в этих регионах населения возрастает обеспокоенность по поводу возможного повышения радиационного фона. В большей степени это связано с тем, что неправильная эксплуатация и нарушение техники безопасности на атомных объектах может привести к радиоактивному заражению местности, опасным фактором которого является радиация.

Радиация (ионизирующее излучение) – это электромагнитные волны и заряженные частицы, излучаемые неустойчивыми ядрами атомов при распаде [2]. Они оказывают непосредственное воздействие на объекты живой и неживой природы. Если о техногенных загрязнениях окружающей среды мы можем судить по своим наблюдениям, то радиоактивное излучение недоступно для наших органов чувств. Ионизирующее излучение невидимо и неслышимо, не обладает запахом и вкусом, поэтому для его обнаружения нужны специальные приборы.

В век атомной энергетики и промышленности ионизирующее излучение применяется во многих отраслях науки и техники. Такими примерами могут быть: металлургия (контроль износа кладки плавильных печей без их остановки); машиностроение (определение толщины оловянного покрытия на жести при лужении); сельское хозяйство (радиоселекция); медицина и т. п.

Таким образом, ученым удалось поставить мирный атом на службу людям. В связи с тем что радиация в больших дозах опасна для жизни и здоровья, необходимо осуществлять контроль излучения с помощью специальных средств. Подобными средствами являются дозиметры – приборы, регистрирующие и измеряющие дозу и мощность экспозиционной дозы.

О том, что дозиметр должен быть доступен простым гражданам, говорят следующие факты. В г. Краматорске (Украина) в 1980–1981 гг. при строительстве жилого дома в стену была замурована ампула с цезием-137 размерами 4 на 8 мм, излучавшая 200 Р/ч, вследствие чего погибли 4 ребенка и 2 взрослых, а 17 человек получили инвалидность; крупные техногенные катастрофы, такие как авария на АЭС Тримайл-Айленд (США, 1979), ЧАЭС (СССР, 1986) [3] и Фукусима-1 (Япония, 2011).

Кроме того, дозиметр должен обладать компактностью, энергоемкостью, быть надежным и обеспечивать широкий диапазон измерений. С учетом вышеизложенного и был сконструирован данный прибор.

### **Цель и порядок работы**

Целью работы является: конструирование бытового дозиметрического прибора, превосходящего заводские аналоги; поиск направлений его дальнейшего совершенствования; рассмотрение возможностей применения собранного прибора в быту, промышленности, экологии.

В ходе работы был проведен анализ имеющихся дозиметрических приборов, оценены их возможности, определены их слабые и сильные стороны.

Из имеющихся типовых схем бытового дозиметра выбрана наиболее удовлетворяющая заявленным требованиям, на основе которой собрана рабочая схема дозиметра. Далее проведена наладка и калибровка прибора, проведены замеры уровня радиации на различных объектах. При этом правильность результатов замеров контролировалась использованием заводских аналогов.

Базой для выполнения работы послужила кафедра радиоэлектроники ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж). Кафедра оснащена специализированными лабораториями и комплектом научного оборудования, в состав которого входят цифровые измерительные приборы, персональ-

ные компьютеры, специальные программы для моделирования узлов радиоэлектронной аппаратуры.

### Изготовление прибора

В ходе выполнения работы использовался экспериментальный метод, включающий в себя сборку электрической схемы, ее наладку, калибровку и непосредственно измерение. Схема электрическая принципиальная бытового дозиметра представлена на рис. 1.

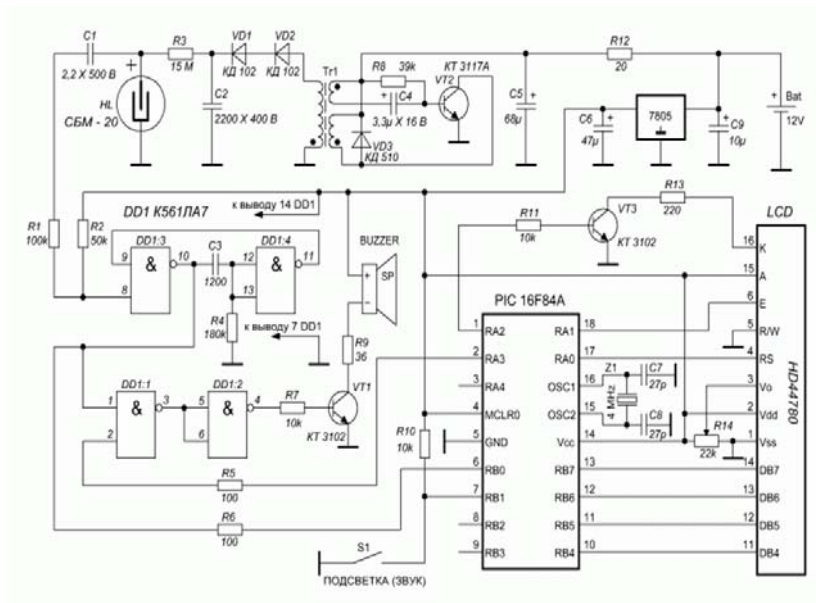


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная бытового дозиметра

Для конструирования была выбрана схема, включающая в себя доступные радиодетали, в частности, микроконтроллер PIC16F84A, позволяющий использовать программирование для управления различными узлами радиоэлектронной аппаратуры.

Далее при изготовлении печатной платы использовался метод моделирования. В компьютерной программе Sprint Layout 5.0 была изготовлена модель печатной платы, на ней спланировано размещение радиодеталей. Эскизы печатной платы и сборочного чертежа платы представлены на рис. 2.



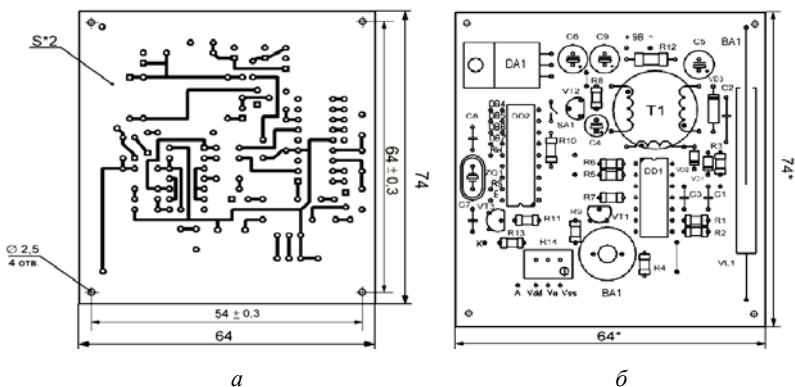


Рис. 2. Эскизы: печатной платы (а); сборочного чертеж платы (б)

Основными узлами схемы являются:

- блокинг-генератор, собранный на транзисторе КТ 3117А (VТ2), с трансформаторной обратной связью, служит для повышения входного напряжения с 9 В до 400 В. Основа этого узла – трансформатор, намоточные данные которого представлены в табл. 1. В ходе выполнения работы данный узел был усовершенствован. Блокинг-генератор, указанный в схеме-прототипе не обеспечивал счетчик необходимыми 400 В. Напряжение на выходе трансформатора было значительно ниже. Для решения этой проблемы были изменены схемы включения резистора R6, конденсатора C4 и транзистора VТ2, что позволило получить стабильное напряжение на выходе трансформатора;

- газоразрядный счетчик СБМ-20, представляющий собой газонаполненный конденсатор, который пробивается при полете ионизирующей частицы через объем газа;

- счетчик и формирователь импульсов, выполненный на цифровой интегральной микросхеме К561ЛА7 (DD1). Принимает импульсы от газоразрядного счетчика и формирует импульсы прямоугольной формы. Микросхема содержит четыре логических элемента 2И-НЕ;

- микроконтроллер PIC 16F84А, считающий импульсы и управляющий работой жидкокристаллического индикатора (ЖКИ) WН0802-YGH-CT, который отображает информацию о мощности экспозиционной дозы излучения.

С помощью сконструированного бытового дозиметра (рис. 3) был измерен уровень радиации на различных объектах.

Мощность радиационного излучения на территории военно-воздушной академии в жилых помещениях и на открытом воздухе состав-

ляет 17 мкР/ч и 12 мкР/ч соответственно, что не превышает норму (30 мкР/ч).

*Таблица 1. Намоточные данные трансформатора*

| Порядок намотки | Тип провода | Количество витков | Данные магнитопровода                  |
|-----------------|-------------|-------------------|--|
| I               | ПЭВ-2-0,07  | 420               | Кольцевой сердечник М3000НМ К16х10х4,5 |
| II              | ПЭВ-2-0,2   | 8                 | Кольцевой сердечник М3000НМ К16х10х4,5 |
| III             | ПЭВ-2-0,2   | 3                 | Кольцевой сердечник М3000НМ К16х10х4,5 |



*Рис. 3. Сконструированный бытовой дозиметр*

У сконструированного прибора есть известные заводские аналоги. К ним относятся дозиметры «Радэкс 1503» (рис. 4, а) и ДП-5Б (рис. 4, б).



*а*



*б*

*Рис. 4. Известные заводские аналоги сконструированного прибора: «Радэкс 1503» (а); ДП-5Б (б)*

Дозиметр «Радэкс 1503» измеряет мощность экспозиционной дозы гамма-излучения. При замерах также учитывается бета- и рентгеновского излучения.

Измерение производится циклами. Короткий цикл равен 10 с и предназначен для быстрого получения предварительных результатов, а длинный занимает не менее 40 с и обеспечивает наиболее достоверный результат.

Дозиметр переносимый ДП-5Б предназначен для измерения уровня гамма-излучения в миллирентгенах (мР) или рентгенах (Р) в час для той точки пространства, в которую помещен при измерении зонд прибора. Кроме того, имеется возможность обнаружения бета-излучения.

Для сравнения точности измерений сконструированного прибора, одновременно осуществлялись замеры дозиметрами «Радэкс 1503» и ДП-5Б. Показания аналога дозиметра «Радэкс 1503» отличались от показаний сконструированного прибора на 1 мкР/ч. Замер производился в течение 20 с.

Также были проведены измерения с использованием контрольного источника радиоактивности, установленного в чехле армейского дозиметра ДП-5Б. Показания сконструированного прибора составили 12 мР/ч, показания ДП-5Б аналогичны. Замер осуществлялся в течение 40 с.

Сравнительные характеристики дозиметров представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Сравнительные характеристики дозиметров**

| Прибор                   | Радэкс-1503        | ДП-5Б              | Сконструированный дозиметр |
|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|
| Характеристики           |                    |                    |                            |
| Диапазон измерений       | 5...999 мкР/ч      | 50 мкР/ч...200 Р/ч | 2 мкР/ч...144 мР/ч         |
| Время замера             | 10...40 с          | 1 мин              | 15...40 с                  |
| Время непрерывной работы | Не менее 550 часов | Не менее 40 часов  | Не менее 72 часов          |
| Габариты, мм             | 105×60×26          | 490×125×300        | 105×60×26                  |
| Масса                    | 90 г               | 7,6 кг             | 150 г                      |
| Себестоимость            | 4900 руб.          |                    | 2302 руб.                  |

### **Перспективы**

В дальнейшем практическое применение данного прибора в промышленности и в быту возможно. Также рассматривается использование прибора в составе комплексов радиационной, химической и био-

логической разведки в Вооруженных силах РФ, использование прибора в качестве бортового дозиметра в боевой технике.

Прибор будет усовершенствован: планируется оборудовать прибор разъемом для наушников, что позволит следить за радиационной обстановкой, ориентируясь по количеству щелчков, если прибор находится в кармане, либо на поясном ремне. Также будет установлен газоразрядный счетчик СИ-ЗБГ, который позволит регистрировать бета- и гамма-излучение мощностью экспозиционной дозы до 300 Р/ч, планируется усовершенствование программы микроконтроллера PIC16F84A, что добавит функцию памяти.

### **Выводы**

Конструирование дозиметрического прибора и усовершенствование его характеристик выполнено успешно. Расчет себестоимости показал существенную разницу в денежных затратах при конструировании дозиметра своими руками (2302 руб.) и при покупке готового заводского (4900 руб.).

Сконструированный прибор по точности измерений не уступает заводским аналогам и даже превосходит их по таким параметрам, как диапазон измерения, габариты, масса и время замера.

### **Список литературы**

1. Производство электроэнергии [Электронный ресурс] // Официальный сайт Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» [Сайт]. – URL: [http://www.rosatom.ru/aboutcorporation/activity/energy\\_complex/electricitygeneration](http://www.rosatom.ru/aboutcorporation/activity/energy_complex/electricitygeneration) (дата обращения: 12.10.2015).
2. Шигапов, А. А. Чернобыль, Припять, далее нигде. – М. : Эксмо, 2010. – 272 с.
3. Мирный, С. М. Живая сила. Дневник ликвидатора. – М. : Эксмо, 2010. – 352 с.

## **Designing of the household dosimeter with the improved characteristics**

**Abstract.** *The analysis of work design and study the possibilities of application of domestic dosimeter. Author gives comparative analysis with known analogues and determines the directions of its further improvement.*

**Keywords:** dosimeter, radiation, ionizing radiation, gas-discharge counter, the schematic electrical diagram.

*А. А. Макаров*, магистрант

*Ю. С. Дудина*, магистрант

*О. П. Богдан*, канд. техн. наук, доц.

*Е. В. Недзвецкая*, инженер

E-mail: pmkk@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Оценка интенсивности ультразвукового излучения медицинских диагностических сканеров**

*В работе представлены результаты измерения интенсивности УЗ-излучения медицинских диагностических сканеров и даны рекомендации по их использованию.*

**Ключевые слова:** ультразвуковое излучение, интенсивность, пузырек, диагностический сканер.

Ультразвуковая (УЗ) диагностика – наиболее широко используемый метод, применяемый при постановке диагноза, считающийся наиболее безопасным, однако и он имеет свои ограничения. Основным параметром УЗ-излучения, ограничивающим его применение в диагностике, является интенсивность [1]. Увеличение уровня интенсивности УЗ-излучения позволяет повысить качество получаемого УЗ-изображения, разрешающую способность, максимальную глубину проникновения и, следовательно, достоверность диагностики. Но при этом, помимо положительных результатов, высокие уровни интенсивности приводят к негативным последствиям, таким как тепловые эффекты (локальный перегрев ткани, особенно костной) и механические эффекты (кавитация, денатурация белков, разрушение биологических тканей и т. п.). Поэтому необходимо контролировать уровень интенсивности УЗ-излучения диагностических сканеров при их производстве и в процессе эксплуатации. Согласно требованиям FDA, уровень интенсивности УЗ-излучения максимальной в пространстве средней по времени для доплеровских режимов не должен превышать  $I_{SPTA} < 720$  мВт/см<sup>2</sup>, согласно IEC для черно-белого В-режима не должен превышать  $I_{SPTA} < 100$  мВт/см<sup>2</sup> [2].

Измерение интенсивности УЗ-излучения, применяемого для диагностических целей, – достаточно сложная задача, т. к. в диагностике используют импульсное высокочастотное излучение, не постоянное во

времени и в пространстве. Существующие методы измерения интенсивности УЗ-излучения имеют ряд ограничений относительно диагностических сканеров, например, калориметрический метод и метод измерения радиационного давления позволяют измерять преимущественно непрерывное излучение терапевтического диапазона, метод взаимности требует наличия калиброванного гидрофона, интерферометрический метод сложен в реализации и т. д. [1, 3].

Разработаны метод и устройство, в которых отсутствуют эти недостатки. Метод основан на совместном действии силы радиационного давления и выталкивающей силы, действующих на газовый пузырек, находящийся в жидкости в УЗ-поле. Конструкция устройства, реализующая данный метод, рассмотрена в [3]. Внешний вид устройства для измерения интенсивности УЗ-излучения показан на рис. 1.



*Рис. 1.* Внешний вид устройства для оценки интенсивности УЗ-излучения

Устройство работает следующим образом. На низкочастотный УЗ-преобразователь, выступающий в качестве формирователя пузырьков, подается высокоамплитудное напряжение, достаточное для создания стабильной кавитации в емкости со слабым раствором глицерина (1,2 %) в дистиллированной воде. При включении УЗ-датчика диагно-

стического сканера в жидкости наблюдается суперпозиция полей УЗ-датчика и формирователя пузырьков, в пределах которых располагаются равновесные пузырьки. Далее формирователь пузырьков выключается и в поле УЗ-датчика диагностического сканера в состоянии равновесия остаются только пузырьки размером, соответствующим интенсивности УЗ-излучения, остальные всплывают. Полученное распределение равновесных пузырьков регистрируют с целью оценки их радиуса и последующей оценки интенсивности УЗ-излучения.

Интенсивность  $I_{SPTA}$  УЗ-излучения для измеренного радиуса равновесного пузырька, находящегося в жидкости в УЗ-поле, определяется по формуле

$$I_{SPTA} = \frac{\rho_0 C_0 g \left( (kR)^6 + \left[ \frac{3\mu^2}{\sigma} - (kR)^2 \right]^2 \right)}{3k^4 R^3},$$

где  $\sigma = \rho_0/\rho$ ;  $k$  – волновое число;  $\mu = C/C_0$ ,  $C$  – скорость звука в газовом пузырьке;  $C_0$  – скорость звука в жидкости;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $R$  – радиус пузырька;  $\rho_0$  – плотность жидкости;  $\rho$  – плотность газового пузырька.

Выполнена оценка интенсивности УЗ-излучения двух сканеров EDAN U50 и O.T.E. Biomedica SIM 3000. При измерении интенсивности УЗ-излучения настройки сканеров установлены по умолчанию для В-режима: EDAN U50, линейный датчик, частота УЗ-излучения  $f = 6,7 \text{ МГц}$ , 1 зона фокуса на глубине 40 мм; EDAN U50, конвексный датчик, частота УЗ-излучения  $f = 2,5 \text{ МГц}$ , 1 зона фокуса на глубине 40 мм; O.T.E. Biomedica SIM 3000, секторный датчик, частота излучения  $f = 3,5 \text{ МГц}$ . При фотосъемке использовался фотоаппарат Nikon D800 Body с разрешением 36 МП, КМОП-матрицей размером 35,9×24,0 мм и объективом для макросъемки 200 mm f/4D ED-IF AF Micro-Nikkor. Фрагмент обрабатываемого изображения представлен на рис. 2.

Ввиду импульсного режима работы УЗ-сканеров на изображении наблюдаются скопления мелких пузырьков в зоне фокуса и недалеко от него. Результаты оценки радиусов равновесных пузырьков, находящихся в зонах фокуса, представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, как для сканера EDAN U50, так и для сканера O.T.E. Biomedica SIM 3000 интенсивность УЗ-излучения в некоторых точках пространства превышает уровни, установленные ИЕС ( $I_{SPTA} < 100 \text{ мВт/см}^2$ ), но при этом находятся в пределах требований FDA ( $I_{SPTA} < 720 \text{ мВт/см}^2$ ). Также наблюдается уменьшение размера

пузырька с увеличением глубины его расположения, что связано с расхождением УЗ-луча за зоной фокуса, в котором наблюдается максимальное значение интенсивности УЗ-излучения.

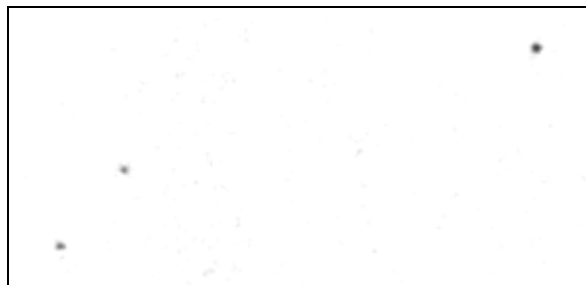


Рис. 2. Изображение равновесного газового пузырька в поле УЗ-излучения конвексного датчика УЗ-сканера EDAN U50 на глубине 60 мм (инвертированное)

Таблица 1. Результаты измерения интенсивности УЗ-излучения

| Глубина $h$ , мм   | Радиус пузырька $R$ , мкм | Интенсивность $I_{SPTA}$ , мВт/см <sup>2</sup> |
|--|---------------------------|--|
| УЗ-сканер EDAN U50 (линейный датчик, $f=6,7$ МГц, зона фокуса 40 мм)   |                           |  |
| 40   | 97                        | 381  |
| 60   | 69                        | 155  |
| 80   | 55                        | 89   |
| УЗ-сканер EDAN U50 (конвексный датчик, $f=2,5$ МГц, зона фокуса 40 мм) |                           |  |
| 10   | 64                        | 45   |
| 40   | 64                        | 45   |
| 60   | 48                        | 29   |
| 80   | 48                        | 29   |
| УЗ-сканер O.T.E. Biomedica SIM 3000 (секторный датчик, $f=3,5$ МГц)    |                           |  |
| 0  | 83                        | 101  |
| 5  | 107                       | 181  |
| 10   | 71                        | 72   |
| 20   | 60                        | 52   |
| 30   | 71                        | 72   |
| 40   | 71                        | 72   |
| 50   | 60                        | 52   |
| 60   | 71                        | 72   |
| 70   | 60                        | 52   |
| 80   | 60                        | 52   |

Таким образом, выполнена оценка интенсивности УЗ-излучения диагностических сканеров, которая показала соответствие выходных характеристик требованиям международных стандартов при настрой-



ках сканера по умолчанию, которые использует врач при проведении диагностических исследований в большинстве случаев. В ситуациях, когда для повышения достоверности исследований необходимо изменить настройки сканера (частота УЗ-излучения, количество зон фокуса, фокусное расстояние, мощность излучения) при УЗ-диагностике сложных пациентов, необходимо проводить исследование с осторожностью, уменьшив время сканирования, т. к. изменение настроек при определенном их сочетании может привести к превышению интенсивности максимальной в пространстве средней по времени относительно установленных международных норм.

*Работа выполнена по государственному заданию Министерства образования и науки РФ ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашиникова» на 2014–2016 гг. в рамках проектной части проведения научно-исследовательских работ (проект № 3.751.2014/К).*

#### **Список литературы**

1. Хилл, К. Ультразвук в медицине. Физические основы применения / под ред. К. Хилла. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 544 с.
2. Осипов, Л. В. Ультразвуковые диагностические приборы: режимы, методы и технологии. – М. : ООО ПКФ «ИзоМед», 2011. – 316 с.
3. Устройство для определения параметров ультразвукового преобразователя : патент на полезную модель № 140996 от 27.05.2014 / Муравьева О. В., Богдан О. П., Милич В. Н., Масленников С. И.

### **Measurement of intensity of ultrasonic radiation of medical diagnostic scanners**

**Abstract.** *The paper presents the results of measuring the intensity of ultrasonic radiation of medical diagnostic scanners and recommendations on their use.*

**Keywords:** ultrasonic radiation, intensity, bubble, diagnostic scanner.

*В. В. Муравьев*, д-р техн. наук, проф.

*И. С. Алимова*, студентка

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

*Е. П. Кузнецов*, канд. мед. наук, ассистент

БУЗ УР «ГКБ № 2 МЗ УР», г. Ижевск

*А. А. Хлебников*, вед. разработчик

ООО «Пультер», г. Ижевск

*Е. В. Недзвецкая*, инженер

E-mail: pmkk@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Разложение ультразвуковых медицинских изображений по кривым с использованием цветовой модели RGB**

*В статье предложен алгоритм обработки серо-шкальных ультразвуковых (УЗ) изображений посредством разложения по кривым с использованием цветовой модели RGB, реализованный на языке высокого уровня C Sharp. Представлены результаты численной обработки фрагмента УЗ-изображения щитовидной железы с позиций выявления неоднородных элементов.*

**Ключевые слова:** ультразвуковое изображение, цветовая модель RGB, щитовидная железа, неоднородная структура.

Одним из самых безопасных и информативных методов медицинской диагностики мягких тканей является ультразвуковое (УЗ) исследование. Ультразвуковая диагностика не несет никакой лучевой нагрузки и позволяет проводить повторные исследования подозрительных участков для более пристального их изучения, а также обнаруживать различные патологии на ранних стадиях их развития [1–2]. Используемые в настоящее время методы УЗ-диагностики ориентированы в большинстве на качественное построение изображения исследуемого органа с возможностью оценки геометрии и скорости движения структур [1–2]. Существуют проблемы визуального отображения физических свойств ткани, ее комплексных биомеханических свойств (плотность, эластичность, подвижность, вязкость и т. п.). В последние годы растет интерес к неинвазивным методам определения патологических состояний мягких тканей, в основе которых лежит исследова-

ние их упругих свойств с помощью УЗ-методов диагностики с опцией «эластография» [3–4]. Разрабатываются новые методы улучшения качества медицинских УЗ-изображений [5–6].

В статье предложен алгоритм обработки УЗ-изображений посредством разложения по кривым с использованием цветовой модели RGB с целью повышения информативности при выявлении неоднородных патологических структур.

В основе алгоритма обработки УЗ-изображения лежит использование цветовой координатной системы (ЦКС), кривые сложения которой были определены экспериментально. Система ЦКС принята Международной комиссией по освещению в 1931 г. и получила название международной колориметрической системы МКО RGB, или просто RGB [7]. RGB – это комбинация кривых первичных цветов, служащих для получения всех остальных цветов, широко используемая для представления цветных цифровых изображений. У системы RGB много композит-диапазонов, в том числе и серо-шкальное отображение одного из диапазонов, имеющее 256 градаций цвета.

В качестве исследуемого объекта выбрано УЗ-изображение щитовидной железы, полученное с использованием УЗ-сканера ALOKA SSD-1700 на частоте сканирования 6 МГц. С целью получения нативного (не поврежденного) изображения с максимальным разрешением в формате Super VHS использовался ТВ-тюнер Kworld USB TV Hybrid TV-Box KW-UB423-D. Формат Super VHS – полупрофессиональный стандарт аналоговой видеозаписи, позволяющий получить изображение более высокого качества, значительно повышает четкость и улучшает детализацию изображения. Полное зарегистрированное УЗ-изображение и фрагмент изображения щитовидной железы, выделенный врачом-диагностом, для дальнейшей обработки представлены на рис. 1. Размер полученного УЗ-изображения составляет 720×576 пикселей, размер анализируемого фрагмента – 43×40 пикселей.

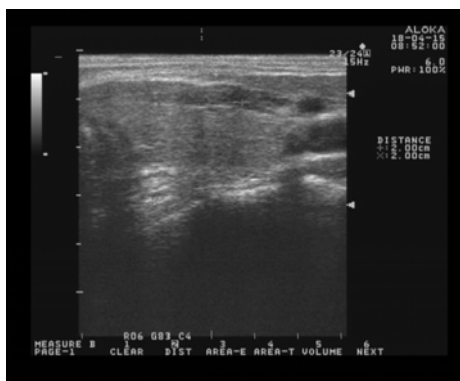
Алгоритм разложения УЗ-изображения по кривым RGB представлен на рис. 2. УЗ-изображение разбивается на двумерную матрицу пикселей по алгоритму считывания изображения Bitmap. Файл считывается построчно сверху вниз, далее каждый пиксель строки – слева направо. Полагается, что каждый пиксель полученного УЗ-изображения имеет свой определенный цвет RGB, который характеризуется совокупностью трех разных чисел. Алгоритм Bitmap подразумевает, что пиксель, характеризуемый RGB, переводится в десятичное число по следующему алгоритму: составляющая «R» RGB переводится в шестнадцатеричную систему исчисления HEX по команде:

```
var hex = pixel.R.ToString("x2") + pixel.G.ToString("x2")
        + pixel.B.ToString("x2")
```

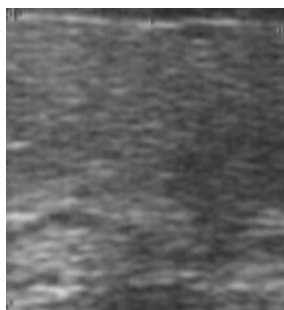
Полученное число переводится в строку. Если в результирующей строке число символов меньше двух, то началу строки присваивается символ «0». По аналогичной схеме преобразуются составляющие «G» и «B» RGB. Складывая полученные строки в определенном порядке, получаем строку с шестнадцатеричным числом. Далее полученная строка в формате HEX в десятичную систему исчисления DEC по команде:

```
var dec = int.Parse(hex, System.Globalization.NumberStyles.HexNumber),
```

Строится новый массив по градациям RGB, преобразованным в десятичную систему исчисления, по которым строятся графики кривых в двумерном пространстве по строкам и столбцам. Построение графика выбранной строки происходит при помощи библиотеки «ZedGraph». По умолчанию номер строки равен 1, номер строки можно менять при помощи команды «Control-a trackBar».



*a*



*б*

*Рис. 1.* Полное УЗ-изображение щитовидной железы (*a*);  
обрабатываемый фрагмент (*б*)

Предложенный алгоритм реализован в виде программы, разработанной на языке высокого уровня C# (C Sharp). Среда написания кода – Visual Studio. Программа работает на платформе .NET Framework, которая является общезыковой средой, подходящей для разных языков программирования. Платформа .NET Framework также ориентирована на работу с операционной системой Microsoft Windows и обеспечивает свободу в создании приложений на различных типах устройств

и в различных средах. Программа работает на технологии Windows Forms, с помощью которой создается визуальный интерфейс, состоящий из набора дочерних элементов управления Control. Благодаря Control пользователь может взаимодействовать с программой при помощи событийной модели разработки интерфейса. При разработке интерфейса Control генерирует события, на которые происходит подписка команд, в свою очередь они передаются обработчику (для каждого события Control есть свой уникальный обработчик команд).

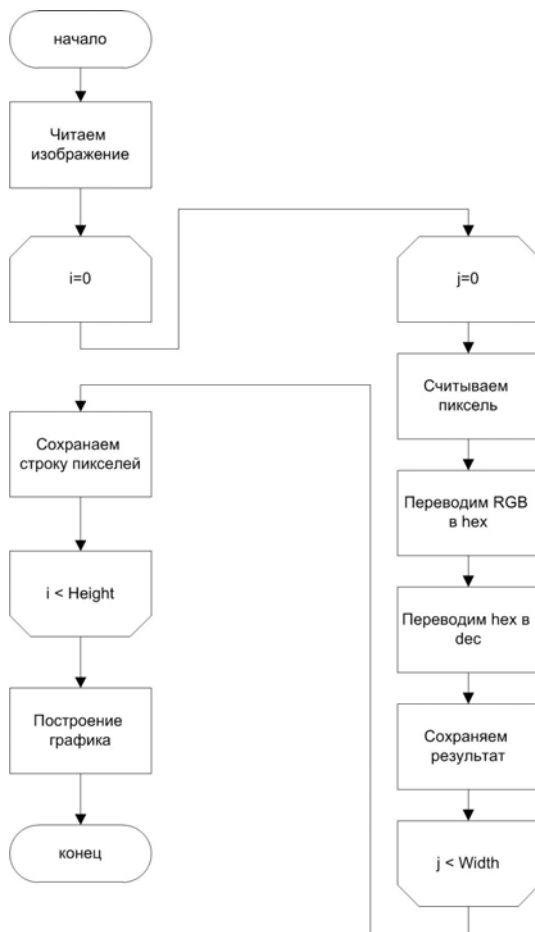


Рис. 2. Блок схема алгоритма программы разложения УЗ-изображения по кривым RGB

По полученным графикам находятся максимальные и минимальные пики кривых с помощью встроенных команд «max» и «min».

Результаты численной обработки участка УЗ-изображения щитовидной железы в виде семейства графиков кривых RGB по строкам представлены на рис. 3, а. На графиках рис. 3, а по оси абсцисс откладывается индекс пикселя, по оси ординат – число, соответствующее цвету пикселя. Наблюдается неравномерность в поведении кривых по глубине кодирования с диапазоном значений от  $2 \cdot 10^6$  до  $11 \cdot 10^6$ . Совокупность максимумов и минимумов кривых пиков свидетельствует об отклонении текстуры изображения от однородного в областях с 1 по 10 и с 20 по 40 пиксели соответственно (рис. 3, б).

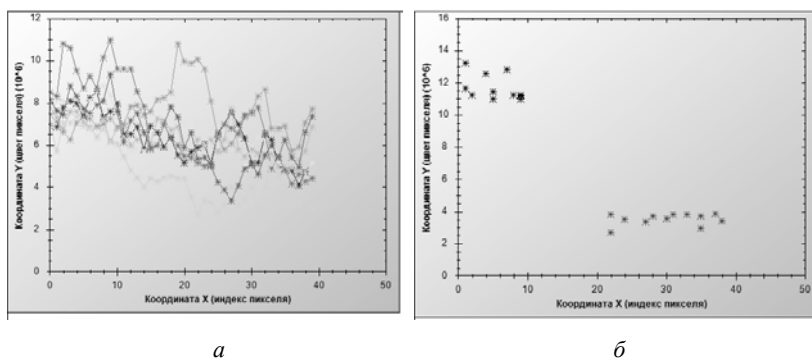


Рис. 3. График первых семи строк УЗ-изображения после разложения по RGB (а); семейство максимумов и минимумов в двумерном пространстве (б)

Таким образом, предложенный алгоритм разложения УЗ-изображения по кривым с использованием цветовой модели RGB и разработанное программное обеспечение могут быть использованы для выявления областей с неравномерной структурой и позволяют повысить информативность диагностического исследования. Дальнейшая модернизация алгоритма предполагает построение двумерного массива максимальных и минимальных значений RGB для случая многочастотного анализа.

*Работа выполнена в рамках проекта № 3.751.2014/К по госзадачу Минобрнауки РФ.*

#### Список литературы

1. Рычагов, М. Н. Ультразвуковая медицинская визуализация: В-сканирование и цифровая реконструкция. – М. : МИЭТ, 2001. – 140 с.

2. Осипов, Л. В. Ультразвуковые диагностические приборы: режимы, методы и технологии. – М. : ООО ПКФ «ИзоМед», 2011. – 316 с.

3. Муравьева, О. В. Исследование статической эластографии методом математического моделирования / Д. С. Мурашова, С. А. Мурашов, О. П. Богдан // Медицинская техника. – 2014. – № 3. – С. 31–34.

4. Муравьева, О. В. Методика и устройство оценки сдвиговых модулей мягких тканей с использованием статической эластографии / Е. П. Кузнецов, О. П. Богдан, Д. С. Мурашова // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2013. – № 4. – С. 106–110.

5. Приоров, А. Л. Улучшение качества ультразвуковых медицинских изображений / А. Л. Приоров, В. В. Хрящев, М. В. Сладков // Медицинская техника. – 2008. – № 4. – С. 11–13.

6. Кульберг, Н. С. Разработка и испытания нового метода улучшения качества изображений в ультразвуковой медицинской диагностике / Н. С. Кульберг, Т. В. Яковлева, Ю. Р. Камалов и др. // Акустический журнал. – 2009. – № 4. – С. 526–535.

7. RGB цветовая схема [Электронный ресурс] // Википедия [Сайт]. –URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/RGB\\_color\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model) (дата обращения: 25.10.2015).

## **Decomposition of ultrasonic medical images on curves with use of the color RGB model**

**Abstract.** *The algorithm of gray-scale ultrasonic (ultrasonography) image processing by means of decomposition on curves using the color RGB model, realized in the high level C Sharp language is proposed in the article. Results of numerical processing of a fragment of ultrasonography thyroid gland image from the point of view of non-uniform structure elements identification are presented.*

**Keywords:** ultrasonic image, color RGB model, thyroid gland, non-uniform structure.

*О. В. Муравьева*, д-р техн. наук, проф.

*М. Ю. Соков*, аспирант

*А. М. Бойченко*, магистр

*А. А. Фотина*, студентка

*М. А. Понькин*, студент

E-mail: pmkk@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Модель зеркально-теневого электромагнитно-акустического метода на многократных отражениях при неравномерности толщины стенки трубы**

*В статье предложена модель формирования серии импульсов многократных отражений по толщине стенки трубы в условиях ее неравномерности, теоретически исследовано влияние степени неравномерности на статистические характеристики получаемой осциллограммы, обосновано их использование в качестве критериев браковки при реализации электромагнитно-акустического зеркально-теневого метода контроля труб на многократных отражениях.*

**Ключевые слова:** зеркально-теневой электромагнитно-акустический метод, неравномерность толщины стенки трубы, моделирование, вероятностно-статистический анализ.

### **Введение**

Качество исходной трубной заготовки определяет качество готовых труб, так как дефекты заготовки могут изменять свою форму и значительно увеличиваться в процессе дальнейшей прокатки. Дефекты трубной заготовки по своему происхождению разделяются на стале-плавильные дефекты, дефекты, образовавшиеся при нагреве, дефекты прокатного происхождения [1]. К основным дефектам проката относят продольные и поперечные трещины, риски, усы (заусенцы, лампасы), закаты, флокены. К дефектам геометрии – разнотолщинность, волнистость, коробоватость, серповидность, овальность круга и т. д. Дефект искажения геометрической формы «разнотолщинность» выражается отклонением от нормы толщины стенки трубы, и в зависимости от



внешнего диаметра и класса точности варьируется от 0,2 мм до 0,8 % от толщины стенки трубы.

Использование электромагнитно-акустического (ЭМА) зеркально-теневого метода контроля проката на многократных отражениях является одним из перспективных подходов при дефектоскопии проката [2, 3]. С целью оценки влияния на результат контроля неравномерности толщины стенки трубной заготовки в статье предложена модель формирования серии импульсов многократных отражений по толщине стенки трубы в условиях ее неравномерности, теоретически исследовано влияние степени неравномерности на статистические характеристики получаемой осциллограммы, обосновано их использование в качестве критериев браковки при реализации электромагнитно-акустического зеркально-теневого метода контроля труб на многократных отражениях.

Разнотолщинностью стенки трубы моделируется смещение центра окружности внутреннего диаметра трубы  $D_B$  на величину  $h_0$  относительно центра окружности наружного диаметра  $D_H$  трубы (рис. 1).

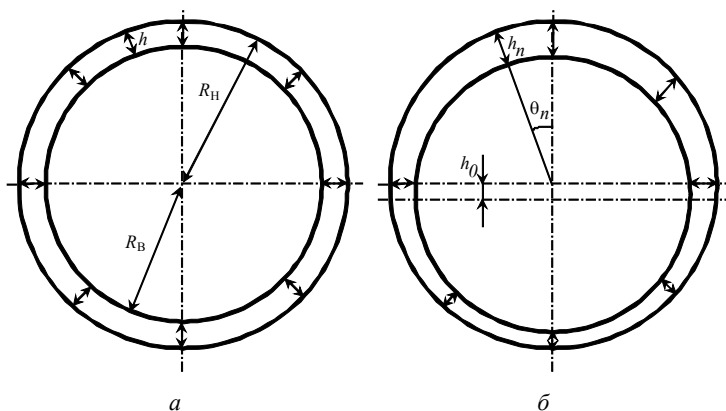


Рис. 1. Модель излучения и приема ультразвуковых волн проходным ЭМА-преобразователем: при равномерной толщине стенки (а); при неравномерной толщине стенки (б)

Моделируемая во времени  $t$  серия импульсов многократных отражений  $U_{\Sigma}(t)$  формируется в результате переотражения поперечных волн, излучаемых ЭМА-преобразователем, по неравномерной толщине стенки трубы и сложения в каждой точке огибающей трубы [4]:

$$U_{\Sigma}(t) = \frac{1}{K} \sum_{n=0}^N (U(Kh_n)) = \frac{1}{R} \sum_{n=0}^N \left( U_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot e^{-i(2\pi f(t-Nh_n/C_i))} \cdot R(Kh_n) \right), \quad (1)$$

где  $U(Kh_n)$  – импульс от  $n$  элемента, прошедший расстояние  $h_n$ ;  $N$  – число элементов суммирования по окружности ( $2\pi$  радиан);  $K$  – число отражений;  $U_0$  – амплитуда зондирующего импульса;  $\beta$  – коэффициент затухания зондирующего импульса во времени, пропорциональный частоте колебаний  $f$ ;  $C_i$  – скорость поперечной волны;  $R(Kh_n)$  – коэффициент ослабления, обусловленный затуханием и расхождением волны.

Из геометрических соображений неравномерность толщины стенки трубы  $h_n$  может быть определена по формуле

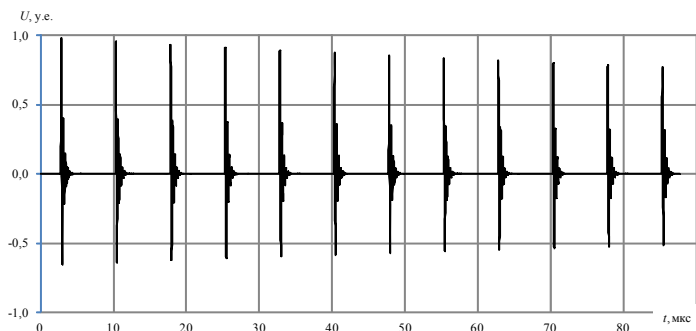
$$h_n = R_H - R_B \frac{\cos(\arcsin(\cos \theta_n \cdot h_0/R_H) + \theta_n)}{\cos \theta_n}, \quad (2)$$

где  $h_0$  – максимальное значение неравномерности;  $\theta_n$  – угол наблюдения.

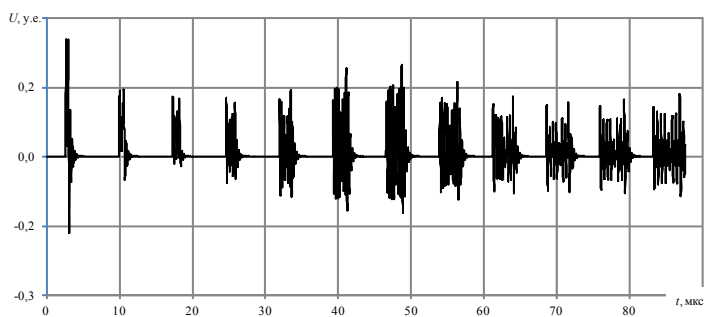
Модель реализована в программной среде MathCad. Моделируемые серии импульсов в случае равномерной толщины стенки трубы ( $h = 12$  мм,  $R_B = 40$  мм,  $R_H = 52$  мм) и неравномерности толщины стенки  $h_0 = 0,5$  мм представлены на рис. 2.

При равномерной толщине стенки трубы наблюдается плавное уменьшение серии многократных отражений, обусловленное затуханием и расхождением ультразвуковой волны. В случае неравномерности по толщине стенки трубы наблюдается значительное падение амплитуды волны и увеличение длительности импульсов на дальних отражениях. Различия тем существеннее, чем больше неравномерность смещения. Для анализа информативных параметров полученных осциллограмм использованы методы вероятностно-статистического анализа [5].

Для осциллограмм, представляемых в виде последовательности отсчетов  $\{x_n, n = 0, \dots, N-1\}$ , с использованием программной среды WinПОС рассчитаны следующие вероятностные характеристики моделируемых осциллограмм: математическое ожидание  $M$ , дисперсия  $D$ , среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ , асимметрия  $As$  и эксцесс  $E$ . Результаты расчетов некоторых из вероятностных характеристик в зависимости от степени неравномерности стенки трубы  $h_0$  представлены на рис. 3.

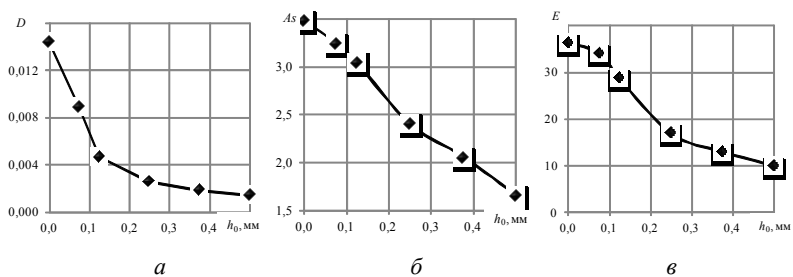


*a*



*б*

*Рис. 2.* Моделируемая серия импульсов: при равномерной толщине стенки трубы  $h = 12$  мм (*a*); при неравномерности  $h_0 = 0,5$  мм (*б*)



*Рис. 3*

Анализ вероятностных характеристик показывает, что параметр «математическое ожидание» является наиболее неустойчивым параметром и не носит однозначный характер от неравномерности толщины стенки трубы. Однозначные обратно пропорциональные зависимости от степени неравномерности  $h_0$  имеют характеристики дисперсии  $D$ , среднеквадратичного отклонения  $\sigma$ , асимметрии  $As$  и эксцесса  $E$ . В частности, при изменении  $h_0$  от 0 до 0,5 мм (4 % от толщины стенки трубы) дисперсия уменьшается на порядок (с 0,014 до 0,0014), среднеквадратичное отклонение – в 3,2 раза (с 0,12 до 0,038), асимметрия – в 2,1 раза, эксцесс – в 3,7 раза. Дополнительным информативным параметром является уменьшение амплитуды всех принятых отражений более чем в 5 раз.

Предложенная модель процесса распространения волн по трубе с неравномерностью толщины стенки трубы и исследованные информативные статистические параметры осциллограмм могут служить в качестве надежных критериев браковки при контроле труб электромагнитно-акустическим зеркально-теневым методом на многократных отражениях.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-19-00051).*

#### Список литературы

1. Дефекты трубных заготовок и методы их устранения [Электронный ресурс] // Трубные технологии [Сайт]. – URL: <http://www.pipe-technology.ru/defects.php?id=2> (дата обращения: 7.11.2015).
2. *Муравьев, В. В.* Оценка остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес методом акустоупругости / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, Е. Н. Балобанов // Дефектоскопия. – 2013. – № 7. – С. 22–28.
3. *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.
4. *Муравьева, О. В.* Моделирование и исследование процесса распространения акустических волн, излучаемых проходным электромагнитно-акустическим преобразователем, по эллиптическому сечению прутка / О. В. Муравьева, К. В. Петров, М. Ю. Соков, М. А. Габбасова // Дефектоскопия. – 2015. – № 7. – С. 51–56.
5. *Муравьева, О. В.* Вероятностно-статистические параметры сигнала при контроле цилиндрических объектов зеркально-теневым методом многократных отражений / О. В. Муравьева, В. В. Муравьев, М. А. Габбасова // Дефектоскопия – 2015. – № 12. – С. 11–19.

## **The model of mirror through transmission electromagnetic-acoustic technique on multiple reflections for pipe irregularly wall thickness**

**Abstract.** *The article presents the model of multiple reflection impulse series generation through pipe wall thickness under conditions of its irregularity, the influence of irregularity degree on statistical characteristics of the obtained oscillogram is investigated, their application as rejection criteria in electromagnetic-acoustic mirror through transmission technique on multiple reflections for pipe testing is proved.*

**Keywords:** mirror through transmission, electromagnetic-acoustic technique, pipe wall thickness irregularity, modeling , probabilistic and statistical analysis.

С. Ф. Нафикова, магистрант  
О. П. Богдан, канд. техн. наук, доц.  
E-mail: pmkk@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Исследование механизмов рассеивания ультразвуковой волны на контрастных веществах в крови**

*В работе рассмотрены некоторые физические подходы к исследованию процессов рассеивания ультразвукового излучения на контрастных веществах в крови.*

**Ключевые слова:** ультразвуковая доплерография, контрастные вещества, рассеивание ультразвукового излучения.

Контрастные вещества представляют собой искусственно созданные газовые (воздух) микропузырьки радиусом  $r = 1 \div 10$  мкм, заключенные в биологическую оболочку (обычно альбуминовую или липидную), которая необходима для предотвращения быстрого растворения и слипания пузырьков. При введении в кровь они улучшают визуализирующие характеристики ультразвукового исследования, так как амплитуда ультразвукового (УЗ) сигнала, рассеянная эритроцитами, не всегда имеет достаточное значение для достоверной диагностики [1].

Основным феноменом, положенным в основу действия УЗ-контрастных веществ, является рассеивание. Рассеивание ультразвуковой волны возникает тогда, когда ультразвук проходит через среду, содержащую локализованные неоднородности, такие как мелкие частицы или пузырьки. Из-за большого различия в звуковом сопротивлении газа внутри пузырька и окружающей его жидкости УЗ-контрастные вещества являются эффективными рассеивателями ультразвука, способными создавать намного более сильное обратное рассеивание, чем обычная кровь или нормальная ткань. Эти пузырьки реагируют на внешнее давление со стороны ультразвуковой волны объемной пульсацией, поглощением и излучением ультразвуковой энергии, при этом генерируется рассеиваемое поле и уменьшается передаваемое поле [2].

Поэтому весьма актуальным является исследование механизмов рассеивания на УЗ-контрастных веществах в крови.

Рассмотрим несколько подходов к изучению рассеивания ультразвуковой волны в крови.

1. Рассеивание как часть затухания УЗ-волны, распространяющейся в крови, обусловленное взаимодействием со структурными неоднородностями и приводящее к ослаблению интенсивности излучения. В отсутствие контрастных веществ рассеивание УЗ-излучения происходит на форменных элементах крови (эритроцитах) и определяется выражением [1]:

$$\alpha_v = \frac{V_p F m_e \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{2 C m_p^2 \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right) \left(1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)}, \quad (1)$$

где

$$\omega_0 = \frac{F}{m_p}, \quad (2)$$

$$F = 6\pi r \eta \left[1 + r \sqrt{\frac{\omega \rho_0}{2}}\right], \quad (3)$$

$$m_p = m_e + m \left[ \frac{1}{2} + \frac{9}{4r \sqrt{\frac{\rho_0}{2\eta}}} \right], \quad (4)$$

$m_e$  – эффективная масса элемента;  $V_p$  – объемная концентрация взвешенных частиц;  $r$  – радиус частицы;  $m$  – масса жидкости, вытесненная частицей;  $C$  – скорость звука;  $\omega = 2\pi f$  – циклическая частота;  $f$  – частота УЗ-излучения;  $\rho$  – плотность частицы;  $\rho_0$  – плотность крови.

Если УЗ-волна распространяется в крови с контрастными веществами, то основными структурными неоднородностями, приводящими к рассеиванию, являются газовые пузырьки (контрастные вещества), которое определяется следующим образом [1]:

$$\alpha_g = \frac{bnc \left(\frac{3P\gamma}{r} + \omega^2 \rho_0\right)}{\left[\frac{1}{2\pi r} \left(\omega^2 \rho_0 - \frac{3g\gamma P}{\varepsilon r^2}\right)\right]^2 + (2b\omega)^2}, \quad (5)$$

где  $b$  – параметр полных диссипативных потерь, представляющий собой сумму параметров тепловых потерь  $b_t$ , потерь на излучение и вязких потерь:

$$b = b_t + \frac{\rho_0 \omega^2}{2\pi c} + \frac{\eta}{\pi r^3}, \quad (6)$$

$$b_t \cong \frac{3Pg\gamma}{4\pi r^3 \omega \varepsilon} \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{(2\xi r)^2}{30} \text{ при } \xi r \leq 1, \quad (7)$$

$$b_t \cong \frac{3Pg\gamma}{4\pi r^3 \omega \varepsilon} \frac{1 - \left(\frac{1}{\xi r}\right)}{1 + \left[\frac{2\xi r}{3(\gamma - 1)}\right]} \text{ при } \xi r \geq 2, 5. \quad (8)$$

Резонансная частота  $\omega_0$  определяется выражением:

$$\omega_0 = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{3\gamma P g}{\rho_0 \varepsilon}}, \quad (9)$$

$$g = 1 + \frac{2T_s}{rP} \left(1 - \frac{\varepsilon}{3\gamma}\right), \quad (10)$$

$$\varepsilon = 1 + \frac{3(\gamma - 1)}{2\xi r} \left[1 + \frac{3(\gamma - 1)}{2\xi r}\right], \quad (11)$$

$$\xi = \sqrt{\frac{\rho_g C_p \omega_0}{2\chi}}, \quad (12)$$

где  $\gamma$  – отношение удельных теплоемкостей газа в пузырьке;  $P$  – статическое давление;  $T_s$  – поверхностное натяжение;  $\rho_g$  – плотность газа;  $C_p$  – удельная теплоемкость газа при постоянном давлении;  $\chi$  – удельная теплопроводность газа.

2. Одиночный элемент контрастного вещества представляет собой сферический газовый пузырек, поэтому, решив волновое уравнение, для него можно получить выражения для сечения рассеяния, которое в пределах малых размеров пузырьков имеет вид [1]:

$$F(\theta) \approx \frac{64\pi^4 [\beta + \rho_0 \cos \theta] f^2 r^3}{3C^2}, \quad (13)$$

где  $\beta$  – сжимаемость среды;  $\theta$  – угол места.



3. Пузырек контрастного вещества, расположенный на пути УЗ-излучения, может быть рассмотрен как сферический отражатель (рассеиватель). Отношение интенсивности  $I_{отр}$  рассеянной пузырьком волны к интенсивности  $I_0$  падающей волны определяется как:

$$\frac{I_{отр}}{I_0} = \left[ \frac{Sr}{2\lambda J^2} e^{-2\delta l} \right]^2, \quad (14)$$

где  $S$  – площадь преобразователя;  $\lambda$  – длина волны;  $\delta$  – затухание УЗ-волны;  $l$  – расстояние от преобразователя до пузырька.

Для каждого из подходов выполнены теоретические исследования рассеивания УЗ-излучения в крови (в качестве неоднородностей использовались эритроциты ( $r = 4$  мкм)) и в крови с УЗ-контрастным веществом (в качестве неоднородности использовались свободные пузырьки воздуха). На рис. 1 показано как изменяется коэффициент рассеивания  $\alpha$  в зависимости от частоты УЗ-излучения  $f$ .

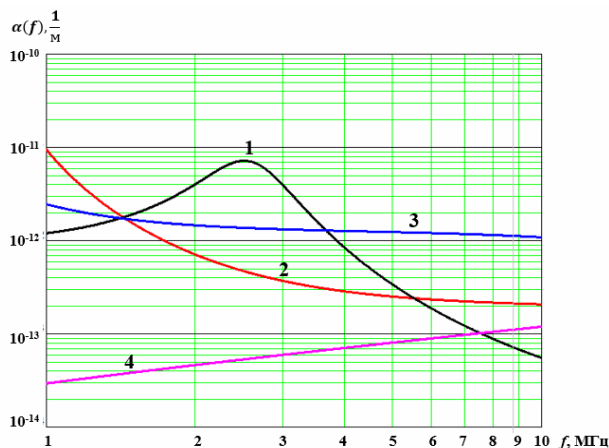


Рис. 1. Зависимость коэффициента рассеивания  $\alpha$  от частоты УЗ излучения  $f$ . 1 – пузырек радиусом  $r = 1$  мкм; 2 – пузырек радиусом  $r = 4$  мкм; 3 – пузырек радиусом  $r = 10$  мкм; 4 – эритроцит радиусом  $r = 4$  мкм

Из графика на рис. 1 видно, что рассеивание УЗ-волны на пузырьках контрастного вещества идет на спад с ростом частоты  $f$ . Для пузырька контрастного вещества радиусом  $r = 1$  мкм на частоте  $f = 2,5$  МГц величина рассеивания в области резонанса достигает значения  $10^{-11}$  1/м

(кривая 1). В отсутствие контрастных веществ затухание возрастает с  $2 \cdot 10^{-14}$  1/м до  $10^{-13}$  1/м.

Выполнено моделирование рассеяния УЗ-излучения на одиночном газовом пузырьке, находящегося в кровяном сосуде с использованием выражения (13), в результате чего получены сечения рассеивания, представленные на рис. 2 (при разных значениях частоты) и рис. 3 (при разных значениях радиуса пузырька). Сечение рассеивания представлено как угловое нормированное распределение интенсивности отраженной пузырьком контрастного вещества УЗ-волны, падающей на него с определенного направления (источник излучения справа).

Из графика на рис. 2 видно, что сечение рассеяния пузырьком радиусом  $r = 4$  мкм при частоте  $f = 2,5$  МГц принимает значение  $10^{-5}$ . При частоте  $f = 5$  МГц и  $f = 10$  МГц значение сечения рассеяния отличаются незначительно и принимают значения  $10^{-4}$  и  $10^{-3}$  соответственно. При падении УЗ-излучения на одиночный пузырек контрастного вещества наблюдается рэлеевское рассеяние, так как он имеет маленький радиус ( $kr \ll 1$ ).

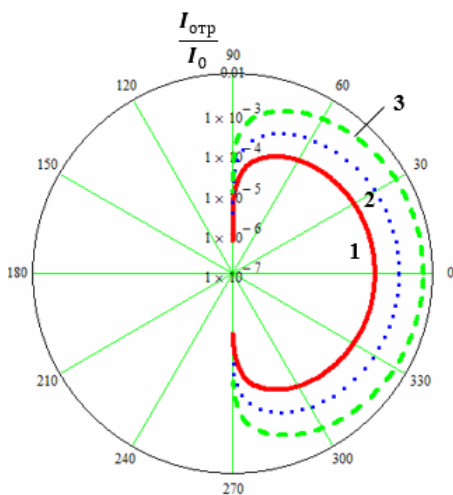


Рис. 2. Сечение рассеяния УЗ-волны на одиночном пузырьке при различных значениях частоты ( $r = 4$  мкм): 1 –  $f = 2,5$  МГц; 2 –  $f = 5$  МГц; 3 –  $f = 10$  МГц

Из графика на рис. 3 видно, что сечение рассеяния на одиночном пузырьке радиусом  $r = 1$  мкм принимает значение  $10^{-6}$ . При радиусе пузырька  $r = 4$  мкм значение сечения рассеяния равно  $10^{-4}$ , а при ра-

диусе  $r = 10$  мкм сечение рассеяния достигает значения  $10^{-3}$ . По данному графику можно проследить, что сечение рассеяния принимает меньшее значение, чем геометрическое поперечное сечение микропузырька.

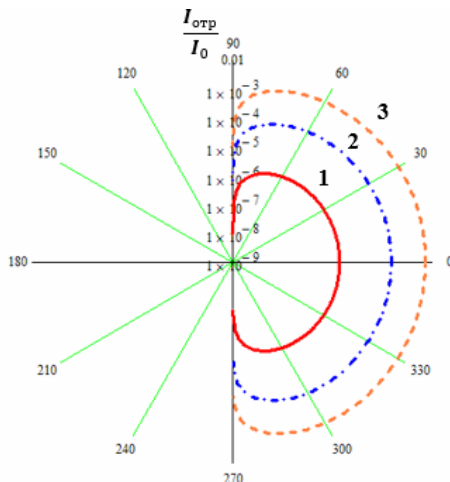


Рис. 3. Сечение рассеяния УЗ-волны на одиночном пузырьке при различных значениях его радиуса ( $f = 2,5$  МГц): 1 –  $r = 1$  мкм; 2 –  $r = 4$  мкм; 3 –  $r = 10$  мкм

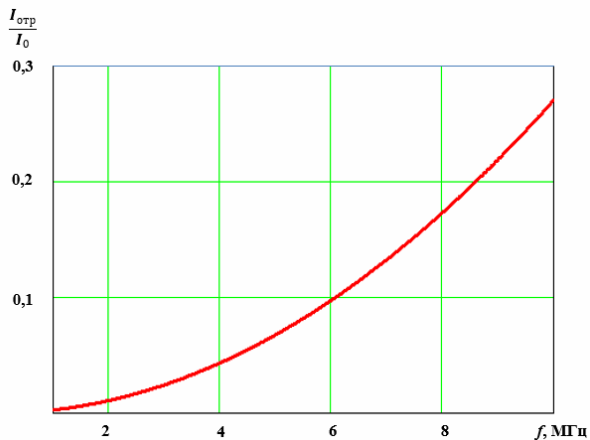


Рис. 4. Зависимость отношения интенсивности отраженной волны и падающей волны от частоты УЗ-излучения для пузырька контрастного вещества ( $r = 1$  мкм)

Выполнена оценка зависимости отношения интенсивности  $I_{\text{отр}}$  рассеянной пузырьком ( $r = 1$  мкм) волны к интенсивности  $I_0$  падающей волны в соответствии с формулой (14), от частоты УЗ-излучения, представленная на рис. 4. И графика видно, что доля рассеянной на одиночном пузырьке контрастного вещества интенсивности УЗ-излучения возрастает с ростом частоты. Это можно объяснить тем, что длина волны с ростом частоты уменьшается, приближаясь тем самым к размеру пузырька. Так, на частоте  $f = 10$  МГц длина волны в крови равна  $\lambda = 150$  мкм, поэтому на высоких частотах кровь с контрастными веществами будет давать большую интенсивность УЗ-рассеянной волны и, следовательно, лучше визуализироваться на экране сканера.

Таким образом, УЗ-контрастные вещества являются эффективными рассеивателями ультразвука, способными создавать намного более сильное рассеивание УЗ-излучения, чем эритроциты в крови.

Рассеивание особенно выражено на резонансных частотах контрастного вещества: для пузырьков, заполненных воздухом и находящихся в воде, эта частота (в МГц) примерно равна  $3/r$ . Так, резонансная частота для пузырька диаметром 1 мкм равна 2,5 МГц, что близко к частотному диапазону, применяемому в диагностических ультразвуковых аппаратах.

*Работа выполнена 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 (проект № 3.751.2014/К).*

#### Список литературы

1. Хилл, К. Ультразвук в медицине. Физические основы применения / под ред. К. Хилла. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 544 с.
2. Догра, В. Секреты ультразвуковой диагностики / В. Догра, Д. Дж. Рубенс. – 3-е изд. – М. : МЕДпрессинформ, 2009. – 564 с.

### **Investigation of scattering mechanisms of the ultrasonic wave for contrast agents in blood**

**Abstract.** *The paper presents some of the physical research approaches of ultrasonic radiation scattering processes to contrast agents in blood.*

**Keywords:** Doppler ultrasound, contrast agents, ultrasonic radiation scattering.

*О. В. Пономарева*, канд. техн. наук, доц.

*В. А. Пономарев*, д-р. техн. наук, проф.

E-mail: ponva@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Процессорные средства вибраакустического диагностирования механообрабатывающего оборудования**

*Рассмотрены на базе системного подхода проблемы вибраакустического функционального диагностирования механообрабатывающего оборудования в условиях производства. Определены основные направления дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.*

**Ключевые слова:** системный подход, процессорные средства, станко-строение, вибраакустический сигнал, диагностирование.

### **Введение**

В решении стратегической задачи технологической модернизации производства, развитии отечественного наукоемкого механообрабатывающего оборудования и инструмента, повышении его конкурентоспособности первостепенное значение имеет вибраакустическое функциональное диагностирование объектов (ВФДО), которое в сравнении с другими видами технического диагностирования обладает целым рядом преимуществ [1–3].

Применение вибраакустического функционального диагностирования объектов является эффективным на всех этапах жизненного цикла вновь создаваемых образцов машин и оборудования:

- на этапе разработки данный вид диагностирования позволяет выявлять несовершенства конструкции и «узкие места» в технологическом процессе;
- на этапе производства позволяет эффективно определять скрытые дефекты, устранение которых носит направленный характер, что значительно сокращает затраты средств, труда и времени;
- на этапе эксплуатации объектов при их техническом обслуживании дает возможность перейти от стратегии **«планово-предупредительных ремонтов»** к стратегии **«ремонтов по состоянию»**, что по

эффективности эквивалентно 30–50 % стоимости диагностируемого оборудования.

Однако, несмотря на столь явные преимущества данного вида технического диагностирования, внедрение систем<sup>1</sup> ВФДО (СВФДО), обладающих широкими функциональными возможностями, непосредственно в условиях производства диагностируемых объектов, является скорее исключением, чем правилом [1–5].

### **Состояние проблемы виброакустического диагностирования механообрабатывающего оборудования**

Анализ современного состояния развития СВФДО (как у нас в стране, так и за рубежом) выявил следующую ярко выраженную тенденцию – *формальное заимствование методов и алгоритмов обработки сигналов из других областей научных исследований без анализа специфики виброакустического функционального диагностирования в конкретной предметной области.*

Такой подход, наряду с преимуществами (например, возможностью применения уже разработанного программного обеспечения процедур обработки информации), обладает и существенными недостатками. Во-первых, требования к средствам вычислительной техники часто оказываются завышенными. Например, при ВФДО на этапе производства и эксплуатации сложных машинных комплексов использование их собственных процессорных средств уже становится проблематичным. Во-вторых, формальный перенос методов и алгоритмов из других областей цифровой обработки сигналов (ЦОС), не учитывающих в полной мере специфику конкретной предметной области, не позволяет осуществить построение эффективного признакового пространства, а следовательно, и алфавита классов состояний диагностируемого объекта, что снижает эффективность и надежность диагностирования объектов.

С целью определения роли и места процессорных средств виброакустического диагностирования при решении задач функционального диагностирования объектов в условиях производства, рассмотрим на базе системного подхода<sup>2</sup> функциональное описание СВФДО.

Современные СВФДО являются сложными техническими системами, которые содержат в своем составе подсистемы, функциональные

---

<sup>1</sup> В технических исследованиях под системой понимается совокупность элементов, объединенных некоторой формой взаимодействия.

<sup>2</sup> Системный подход – это представление проектируемого объекта в виде замкнутой системы и комплексное, с учетом всех взаимосвязей, изучение рассматриваемого объекта как единого целого с позиций системного анализа.

блоки и элементы, отличающиеся по структуре, свойствам, характеру связей и параметрам. Для исследования систем такого класса необходимо провести их описание, т. е. построить некоторую обобщенную модель системы функционального диагностирования объектов, которая бы отражала проблему создания методов, алгоритмов и средств цифровой обработки сигналов [6].

Функциональное описание системы  $S_\Phi$  в рамках системного подхода характеризуется тройкой конечных множеств отражающих функции  $\Phi$ , операторы преобразования  $R$  и иерархию  $G$ :

$$S_\Phi = \{\Phi, R, G\}. \quad (1)$$

Основой функционального описания СВФДО является описание ее работы (функционирования), которое приведено в виде обобщенной функционально-структурной схемы на рис. 1.

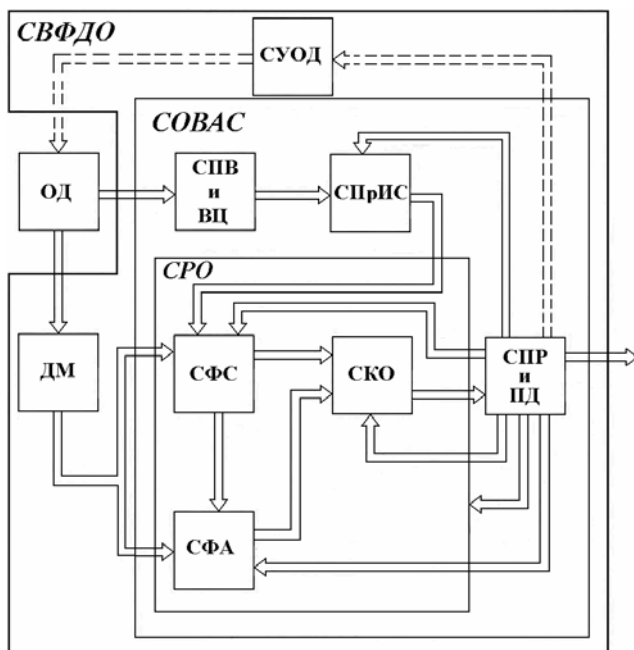


Рис. 1. Обобщенная функционально-структурная схема СВФДО

Система виброакустического функционального диагностирования объектов (СВФДО) включает в себя: ДМ – диагностическую модель;

СОВАС – систему обработки виброакустического сигнала; СУОД – систему управления объектом диагностирования (может отсутствовать, поэтому связи показаны пунктиром). Подсистемами СОВАС являются: СПВиВЦ – система первичных вибропреобразователей и входных цепей; СПРИС – система процессорных средств измерения параметров виброакустического сигнала; СПРiПД – система принятия решения и постановки диагноза; СРО – система распознавания образов, включающая в себя СФС (систему формирования словаря диагностических признаков), СФА (систему формирования алфавита классов (диагнозов)), СКО (систему классификации образов).

Из обобщенной функционально-структурной схемы СВФДО непосредственно следует вывод о важности подсистем СПВиВЦ и СПРИС в СВФДО [7–12]. В том случае, когда результаты работы системы СПРiПД не удовлетворительны, принимается решение о совершенствовании методов и алгоритмов процессорных средств измерения, обработки и анализа параметров виброакустического сигнала (обратная связь подсистемы СПРiПД с подсистемой СПРИС, см. рис. 1).

В задачах виброакустического функционального диагностирования объектов общепринято рассматривать функционирующую механическую систему как некоторый преобразователь информации [6–8]:

$$U = A \cdot Z, \quad (2)$$

где  $Z = [z_1, z_2, \dots, z_N]^T$  – вектор технических параметров объекта диагностирования;  $A$  – оператор преобразования;  $U = [u_1, u_2, \dots, u_N]^T$  – вектор диагностических признаков технического состояния объекта диагностирования.

В этом случае задачей виброакустического функционального диагностирования является решение обратной задачи:

$$Z = A^{-1} \cdot U. \quad (3)$$

Оператор  $A^{-1}$ , устанавливающий связь между пространством состояний объекта диагностирования и пространством диагностических признаков, определяет так называемую **диагностическую модель**. Как показал анализ, при построении диагностических моделей различного рода объектов для получения вектора диагностических признаков (2) широкое распространение получили частотные и частотно-временные представления либо непосредственно виброакустического сигнала, либо некоторого его функционального преобразования (например, гнбающей (мгновенной амплитуды) виброакустического сигнала). Поскольку при данном подходе поиск информативных диагностиче-



ских признаков осуществляется в частотной области, данные диагностические модели получили названия **частотных моделей**. Данные модели, отражая динамические характеристики диагностируемого объекта, позволяют связать проявление того или иного дефекта с появлением в энергетическом спектре (квадрате модуля частотного спектра) виброакустического сигнала отдельных дискретных составляющих (ДС), гармонического ряда ДС или в энергетическом спектре некоторого функционального преобразования виброакустического сигнала (например, огибающей сигнала). Частотные модели виброакустических сигналов нашли самое широкое применение в ВФДО, например, таких узлов (элементов) механообрабатывающего оборудования, как подшипники качения, зубчатые зацепления, электрические двигатели, гибкие дисковые муфты, подшипники скольжения, центробежные, винтовые и шестеренные насосы, а также в диагностировании технологических процессов резания.

Рассматривая частотные модели технического состояния узлов (элементов) механических систем с точки зрения системного и информационного подходов, можно их обобщить в виде следующей **обобщенной частотной модели виброакустического сигнала**:

$$Y(t) = Y_1(t) + \sum_m \{A_m + B_m + C_m\}, \quad (4)$$

где

$$A_m = \sum_k A_{m,k} \cos(2\pi k f_m t + \varphi_{m,k});$$

$$B_m = \sum_p \sum_r B_{m,k,p,r} \cos[2\pi(kf_m - rf_p)t + \alpha_{m,k,p,r}];$$

$$C_m = \sum_p \sum_r C_{m,k,p,r} \cos[2\pi(kf_m + rf_p)t + \beta_{m,k,p,r}];$$

$Y_1(t)$  – стационарный эргодический случайный процесс.

Сделаем следующие замечания относительно обобщенной частотной модели виброакустического сигнала (4): модель является «смешанной», т. е. содержит квазидетерминированные составляющие  $\sum_m \{A_m + B_m + C_m\}$  и случайную часть  $Y_1(t)$ ; квазидетерминированные составляющие виброакустического сигнала, в общем случае, не являются периодическими функциями, а определяются более общим клас-

сом функций – так называемыми почти периодическими функциями<sup>1</sup>; модель не является аддитивной, как может показаться на первый взгляд, т. к. допускается «перекрестная» модуляция.

### **Выводы**

Системный анализ проблемы внедрения процессорных средств виброакустического функционального диагностирования объектов, ориентированных на применение в условиях производства диагностируемых объектов и обладающих широким спектром функциональных возможностей показал, что для широкого внедрения СВФДО необходимы углубленные теоретические и экспериментальные исследования в следующих основных направлениях:

1. Разработка широкого спектра частотных и частотно-временных диагностических моделей, отражающих разнообразие и специфику диагностируемых объектов.

2. Повышение контролепригодности (контролеспособности) объектов диагностирования.

3. Создание цифровых методов и алгоритмов измерения, обработки и анализа виброакустических сигналов, которые учитывали бы специфику виброакустического функционального диагностирования объектов как предметной области.

4. Расширение функциональных возможностей средств виброакустического функционального диагностирования при повышении их надежности, снижении их стоимости и сложности.

### **Список литературы**

1. *Артоболевский, И. И.* Введение в акустическую динамику машин / И. И. Артоболевский, Ю. И. Бобровницкий, М. Д. Генкин. – М. : Наука, 1979. – 296 с.

2. *Пономарев, В. А.* Виброакустическое диагностирование коробок передач станков цифровыми методами / В. А. Пономарев, О. В. Пономарева // СТИН. – 1983. – № 9. – С. 18–21.

3. *Khelf, I., Laouar, L., Bouchelaghem, A. M., Rémond, D., Saad S.* “Adaptive fault diagnosis in rotating machines using indicators selection,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 40, issue 2, November 2013, pp. 452–468.

4. *Пономарев, В. А.* Иерархическая морфологическо-информационная модель системы функционального диагностирования объектов на основе цифровой обработки сигналов / В. А. Пономарев, О. В. Пономарева, А. В. Пономарев // Датчики и системы. – 2014. – № 1(176). – С. 2–8.

---

<sup>1</sup> Почти периодическая функция – это функция, значения которой при добавлении к аргументу надлежащим образом выбранных постоянных чисел (почти периодов) приближенно повторяются.

5. Пономарева, О. В. Метод быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье действительных последовательностей / О. В. Пономарева, А. В. Пономарев, Н. В. Пономарева // Цифровая обработка сигналов. – 2013. – № 2. – С. 10–15.

6. Пономарева, О. В. Цифровой периодограмм-анализ и проблемы его практического применения / О. В. Пономарева, В. А. Алексеев, А. В. Пономарев // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2013. – № 2(58). – С. 130–133.

7. Пономарев, В. А. Инвариантность текущего энергетического фурье-спектра действительных дискретных сигналов на конечных интервалах / В. А. Пономарев, О. В. Пономарева // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2014. – № 1. – С. 15–21.

8. Пономарева, О. В. Повышение точности и расширение функциональных возможностей цифровых фильтров на основе частотной выборки / О. В. Пономарева, Н. В. Пономарева // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2(7). – С. 114–119.

9. Пономарева, О. В. Быстрое параметрическое дискретное преобразование Фурье действительных последовательностей // Цифровая обработка сигналов. – 2012. – № 2. – С. 2–5.

10. Пономарева, О. В. Модификация фильтра на основе частотной выборки для решения задач цифровой обработки случайных процессов со скрытыми периодичностями / О. В. Пономарева, Н. В. Пономарева // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 2(20). – С. 122–129.

11. Алексеев, В. А. Методология определения погрешностей измерения вероятностных характеристик случайных процессов, реализуемых процессорными измерительными средствами / В. А. Алексеев, В. А. Пономарев, О. В. Пономарева // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2. – С. 91–99.

12. Пономарев, В. А. Временные окна при оценке энергетических спектров методом параметрического дискретного преобразования Фурье / В. А. Пономарев, О. В. Пономарева // Автометрия. – 1983. – № 4. – С. 39.

## **Processor means for vibroacoustic diagnosing of machining equipment**

**Abstract.** *Considers, on the basis of a systematic approach, the problem of functional diagnosis of vibro-machining equipment in the present conditions of production. The main on-board of further theoretical and experimental studies.*

**Keywords:** systemic approach, processor means, machine-building, vibroacoustic signal, diagnosis.

УДК 69.051-624.1

*Д. Г. Репин*, канд. техн. наук, зам. гл. инженера

АО «Гипрогазцентр», г. Н. Новгород

*В. А. Постников*, нач. отдела

*И. О. Гусев*, зав. группой

*В. В. Рассомахин*, вед. инженер

E-mail: izhokpudm@udm.net, 8 (3412) 45-22-10

АО «Гипрогазцентр», г. Ижевск

*В. В. Тарасов*, д-р техн. наук, зав. лабораторией

E-mail: tvv@udman.ru, 8 (3412) 50-82-00

ФГБУН «Институт механики УрО РАН», г. Ижевск

## **Организация геотехнического мониторинга оснований зданий и сооружений при строительстве и реконструкции на объектах ПАО «Газпром»**

*Рассмотрен комплекс работ по организации геотехнического мониторинга различных объектов для контроля возводимых и реконструируемых сооружений.*

**Ключевые слова:** геотехнический мониторинг, реконструкция, объекты строительства, разработка мероприятий, нормативная документация.

### **Введение**

Геотехнический мониторинг – комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за состоянием конструкций вновь возводимого или реконструируемого сооружения, его основания, грунтового массива, окружающего сооружение, и конструкций сооружений окружающей застройки. Необходимость проведения геотехнического мониторинга определена п. 12.4 СП 22.13330.2011 [1].

Цель мониторинга – проведение наблюдений за состоянием вновь строящихся или реконструируемых зданий и сооружений, их оснований и окружающего массива грунта от проектных данных, разработка мероприятий по предупреждению и устранению возможных негативных последствий, разработка прогноза состояния строящегося или реконструируемого объекта, воздействия его на окружающие здания и сооружения. Своевременное выявление дефектов, оценка правильности принятых методов расчета, проектных решений [2].

В соответствии с требованием п. 12.4 СП 22.13330.2011 [1], для объектов нового строительства и реконструкции необходимо проводить геотехнический мониторинг следующих конструкций:

- а) оснований, фундаментов и конструкций сооружений;
- б) ограждающих конструкций котлованов;
- в) массива грунта, окружающего подземную часть сооружения, расположенного на застроенной территории.

Уровень ответственности и соответствующий им класс сооружений для объектов проектирования принимается в соответствии с ГОСТ 27751–2014 [3] и определяется заказчиком проекта.

Категории сложности инженерно-геологических условий принимаются в соответствии с приложением Б. СП 11-105-97 [4].

Номенклатура работ на объектах нефтегазовой инфраструктуры, относящихся как к новому строительству, так и к реконструкции, в основном классов КС-2 (нормальный уровень ответственности) и КС-3 (повышенный уровень ответственности) с расположением объектов на всей территории Российской Федерации, включая грунты со II и III категорий сложности инженерно-геологических условий.

В настоящее время на этапе предпроектного обследования строительных конструкций зданий и сооружений в случаях необходимости или при условиях проведения мониторинга (а, б, в) в объеме проектной документации закладываются проектные решения и соответствующие затраты на производство геотехнического мониторинга по наблюдению за строительными конструкциями объектов реконструкции и объектами окружающей застройки.

При наличии в обследуемых зданиях дефектов в ограждающих и несущих конструкциях (трещин, расколов, прогибов конструкций и др. повреждений), характер которых указывает на возможные продолжающиеся деформации конструкций или зданий в целом, проектными решениями предусматривается установка пластинчатых маяков (типа ЗИ-2, производства ИП Безродных А. В. [5]). Это позволяет отследить не только движение трещин, но и с достаточной точностью величину вертикальных и горизонтальных перемещений.

В случаях обеспечения условий достаточности проведения мониторинга, происходит создание наблюдательной сети, с включением опорных (неподвижных) реперов и деформационных марок, закрепляемых к ограждающим конструкциям и фундаментам зданий и сооружений, с последующим отслеживанием во времени развития деформаций при помощи высокоточного оптического нивелирования. По результатам измерений устанавливают относительную отметку деформационных марок, разность отметок марок между собой, которая позволяет получить величину деформации каждой марки, а также величины горизонтальных и вертикальных перемещений отдельных участков строительных конструкций. Полученные результаты являются

дополнительными исходными данными для учета в проекте реконструкции.

Геотехнический мониторинг является сложной комплексной работой, требующей квалифицированных специалистов, приборно-инструментальной базы, специального программного обеспечения.

Необходимость анализа работоспособности нескольких объектов одновременно требует выполнения поверочных расчетов с использованием специализированного программного обеспечения (например, программы PLAXIS 3D), позволяющих выполнять комплексные расчеты напряженно-деформированного [6] состояния и устойчивости методом конечных элементов в условиях пространственной задачи.

Проведение геотехнического мониторинга с 01 июля 2015 года является обязательным для исполнения согласно п. 5 постановления Правительства РФ № 1521 от 26 декабря 2014 г. [7].

#### Список литературы

1. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. – М. : ЦПП, 2011.
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федер. закон Рос. Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ. – М. : ГД ФС РФ, 2009.
3. ГОСТ 27751–2014 Надежность строительных конструкций и оснований. – М. : Стандартинформ, 2015.
4. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть 1. Общие правила производства работ / Госстрой России. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997.
5. Маяки для наблюдения за трещинами серии ЗИ [Электронный ресурс] // здание-инфо.рф [Сайт]. – URL: <http://здание-инфо.рф/маяки-серии-зи/> (дата обращения: 31.05.2016).
6. Болдырев, Г. Г. Геотехнический мониторинг / Г. Г. Болдырев, А. А. Жибаев // Инженерные изыскания. – 2013. – № 8. – С. 40–45.
7. Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»: постановление Правительства Рос. Федерации от 26 декабря 2014 г. № 1521.

### **Organization of the geotechnical monitoring of bases of buildings and constructions during construction and reconstruction at Gazprom objects**

**Abstract.** *Considered a complex of works on organization of geotechnical monitoring various objects for control built and reconstructed buildings.*

**Keywords:** geotechnical monitoring, reconstruction, construction, development activities, regulatory documentation.

*В. А. Степанов*, канд. техн. наук, зав. лабораторией  
E-mail: vladimir1@udm.ru

*В. В. Белых*, канд. техн. наук, доцент  
E-mail: bil\_ha@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Универсальный механизм информационных преобразований изображений структур материалов различной природы**

*В работе описаны результаты компьютерного анализа изображений структуры материалов различной природы (кости, металлы, флюорограмма грудной клетки). На основе информационных преобразований и мультифрактальной параметризации исследовались процессы развития устойчивости и распада динамических мезоструктур, что позволяет контролировать изменения в структуре при воздействии внешних факторов или в процессе динамического развития.*

**Ключевые слова:** фрактал, мультифрактал, нелинейные динамические системы, структура, самоорганизация, самоподобие, адаптация, кость, металл, флюорограмма, диагностирование.

### **Введение**

Информация как мера упорядоченности элементов структуры присутствует любым материальным телам и может проявляться в виде геометрической фигуры или узора в структуре материального тела. Способность объектов материального мира к накоплению информации и информационной деятельности проявляется как эффект реализации синергетических механизмов взаимодействия большого числа подсистем, приводящих к образованию устойчивых структур, к самоорганизации и к самоуправлению [1]. Мультифрактальная параметризация плоских изображений осуществлялась с помощью компьютерной программы [2]. Для этого изображение структуры покрывается делительной сеткой размером ячейки  $d$  и определяются структурные параметры информационной системы (спектр зависимостей обобщенных размерностей Реньи  $D_{q,d} - q$ , где целочисленный индекс  $q$  принимает значения от  $-40$  до  $40$ ). При увеличении размера ячейки  $d$  от 3 до 50 пиксель возникают преобразования полноты информации.

## Описание модели

Геометрическим образом мезодефекта на нижнем структурном уровне является первичная ячейка делительной сетки  $3 \times 3$  пикселя. Верхние структурные уровни получаем объединением первичных ячеек. Растровое изображение (мультифрактальное множество точек) на мезоуровне представляется как множество  $U$  его структурных уровней (подмножеств) и множество  $R$  связей (отношений) между ними. Два множества  $U$  и  $R$ , называемые информационной системой  $SS$ , делятся на подсистемы низшего уровня, динамика которых определяется взаимодействием мезодефектов в изучаемом объеме. При этом на каждом следующем уровне мезодефектами являются системы предыдущего уровня, т. е. распределение мезодефектов по уровням отображается системой вложенных множеств:

$$U_j \rightarrow U_{j+1} \rightarrow SS, \quad (1)$$

где  $j$  – номер уровня.

Структурная информация  $C(S)$  определяется совокупностью статистических данных о состоянии мезодефектов на каждом уровне и известна как информационная энтропия:

$$C(S) = -\sum_{k=1}^N (P_k \ln P_k),$$

где  $P_k$  – вероятность.

Переданная информация  $I(S)$  представляется как отображение информации нижнего уровня на верхний иерархический уровень:

$$I(S_{j,j+1}) = C(S_j) + C(S_{j,j+1}),$$

где  $C(S_{j,j+1})$  – условная информация, учитывающая корреляционное взаимодействие мезодефектов структурных уровней.

Информационные преобразования и мультифрактальная параметризация изображений позволяют выявить: взаимосвязь структурных параметров информационной системы (спектр размерностей Реньи  $D_{q,d}$ ) со свойствами материалов [3]; динамические свойства мезоструктур на основе закона золотой пропорции [4]. На стадии упорядоченной самоорганизации процессы развития устойчивости и распада динамических мезоструктур взаимосвязаны между собой законом положительной обратной связи: каждый последующий параметр устойчивости информационной системы имеет информацию о предыдущем (эффект наследственности). Функция, определяющая условие положительной обратной связи при переходе к хаосу, представлена в виде:



$$X_n^*/X_{n+1}^* = \Delta_i^{1/m}, \quad (2)$$

где  $X_n^*$  и  $X_{n+1}^*$  – предыдущий и последующий параметры устойчивости;  $\Delta_i$  – мера устойчивости;  $m$  – показатель периодичности упорядочения структуры, изменяющийся по закону геометрической прогрессии:  $m = 2, 4, 8, 16, 32, \dots$

Мера структурной стабильности  $A_m^*$  в точке перехода системы от упорядочения к хаосу является функцией мер устойчивости и адаптивности:

$$A_m^* = X_n^*/X_{n+1}^* = \Delta_i^{1/m}. \quad (3)$$

Порогу ( $A_m^*$ ) структурной стабильности системы (3) отвечает пороговое значение  $m = m^*$ , вплоть до которого при структурных перестройках  $\Delta_i = \text{const}$  (табл. 1);  $m^*$  – предельное число перестроек до перехода к хаосу.

**Таблица 1. Детерминированные законом золотой пропорции порог неустойчивого равновесия структур адаптации ( $\Delta_i$ ) и соответствующие им меры ( $A_m$ ) адаптивности структуры к самоорганизующимся перестройкам для систем с самоуправляемой обратной связью (линия выделенных значений отвечает пределу адаптации при  $\Delta_i = \text{const}$  и  $A_m = A_m^*$ )**

| i | $A_m = \Delta_i^{1/m}$ |             |             |             |             |             |             |             |
|---|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | $\Delta_i$             | m           |             |             |             |             |             |             |
|   |                        | 2           | 4           | 8           | 16          | 32          | 64          | 128         |
| 2 | 0,465                  | <b>0,68</b> | –           | –           | –           | –           | –           | –           |
| 3 | 0,380                  | 0,62        | <b>0,79</b> | –           | –           | –           | –           | –           |
| 4 | 0,324                  | 0,57        | 0,75        | <b>0,87</b> | –           | –           | –           | –           |
| 5 | 0,285                  | 0,53        | 0,73        | 0,85        | <b>0,92</b> | –           | –           | –           |
| 6 | 0,255                  | 0,50        | 0,71        | 0,84        | 0,92        | <b>0,96</b> | –           | –           |
| 7 | 0,232                  | 0,48        | 0,69        | 0,83        | 0,91        | 0,95        | <b>0,98</b> | –           |
| 8 | 0,213                  | 0,46        | 0,68        | 0,82        | 0,91        | 0,95        | 0,98        | <b>0,99</b> |

Для квазипериодических систем на пути к хаосу наблюдаются изменения меры устойчивости, но при этом снижение  $\Delta_i$  на один ранг влечет рост  $m^*$  также на один ранг [5].

### Описание метода исследования и полученных результатов

Модель мультифрактальной параметризации и компьютерная программа обработки растровых изображений [5–6] устанавливает спектр зависимостей обобщенных энтропий (размерностей) Реньи ( $D_{q,d} - q$ ) и эффективные количественные характеристики: меру скрытой упо-

рядочности и меру скрытой периодичности  $K = D_1 - D_{40}$ , где  $D_1$  – информационная энтропия. Мера  $\Delta_{40}$  отражает степень упорядоченности структуры и его увеличение (по модулю) означает, что в структуре становится больше периодической составляющей, и что система накапливается информацией (негэнтропией) [5, 7–8]. На рис. 1 приводится модель периодической структуры, содержащая два элемента периодичности с размерами 7 и 21 пиксель. С увеличением размера ячейки наблюдается скачкообразное возрастание информационной энтропии  $D_1$  (рис. 2), что сопровождается резонансными нелинейными колебаниями меры скрытой упорядоченности  $\Delta_{40}$ , которые наблюдаются в виде минимума и плато в интервале роста размеров ячейки до 21 пикселя (рис. 3). В сценарии хаотизации присутствует мягкая потеря устойчивости в интервале от 21 до 27 пикселей (рис. 3), при этом информационная энтропия  $D_1$  повышается до максимума (рис. 2). Переход к хаосу и механизм упорядочения контролируется структурным периодом 21 пикселя и характеризуется мерой адаптивности  $A_m^* = 0,98$ , мерой устойчивости 0,232 и числом перестроек  $m^* = 64$  детерминированных значений мер устойчивости и адаптивности, представленных в табл. 1. Механизмы упорядочения контролируются ячейками: 5, 7, 8, 12, 14, 15, 17, 19, 21.

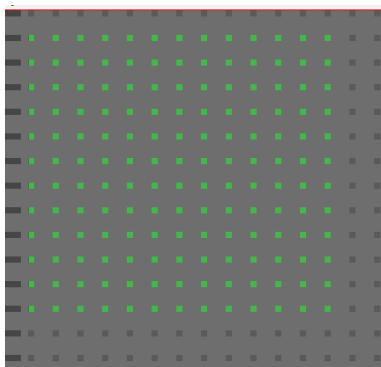


Рис. 1. Модель периодической структуры, с двумя элементами размерами 7 и 21 пиксель



Рис. 2. Поперечный срез кости

В табл. 2 выделены значения мер устойчивости и число перестроек, соответствующих предельным состояниям мер адаптивности ( $A_m^*$ ), которые наблюдаются срезанными вершинами на графике изменения меры упорядоченности  $\Delta_{40}$  (рис. 3).

Таблица 2. Мера устойчивости ( $\Delta_i$ ) и адаптивность  $A_m = \Delta_i^{1/m}$  структурной ячейки и число  $m$  ее перестроек (выделены предельные подсистемы адаптации)

| $d_n$ , пикс. | $(\Delta_{40})_n^*/(\Delta_{40})_{n+1}^*$ | $A_m$ | $\Delta_i$ | $A_m^*$ | $m^*$ |
|---------------|---|-------|------------|---------|-------|
| 5             | 0,74                                      | 0,73  | 0,285      | 0,92    | 16    |
| 7             | 0,75                                      | 0,75  | 0,324      | 0,87    | 8     |
| 8             | 0,90                                      | 0,91  | 0,232      | 0,98    | 64    |
| 12            | 0,93                                      | 0,92  | 0,285      | 0,92    | 16    |
| 14            | 0,48                                      | 0,48  | 0,232      | 0,98    | 64    |
| 15            | 0,98                                      | 0,98  | 0,232      | 0,98    | 64    |
| 17            | 0,83                                      | 0,83  | 0,232      | 0,98    | 64    |
| 19            | 0,96                                      | 0,96  | 0,255      | 0,96    | 32    |
| 21            | 0,84                                      | 0,83  | 0,232      | 0,98    | 64    |

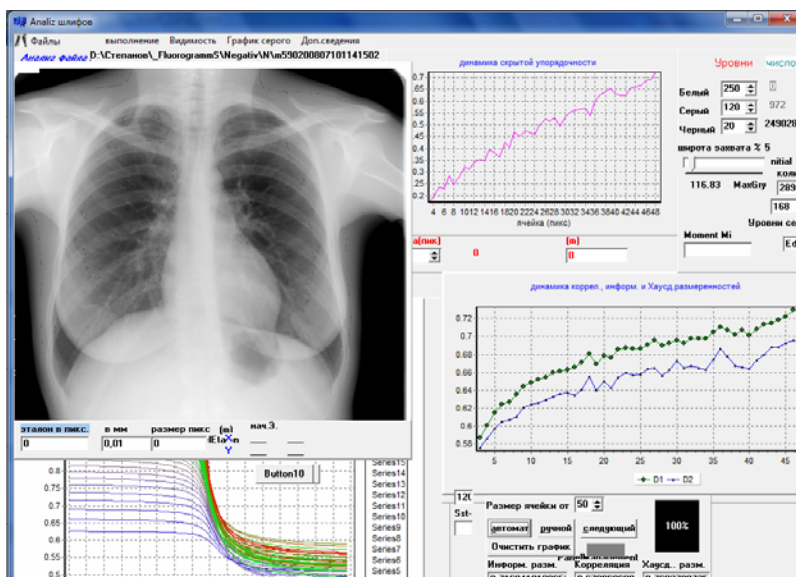


Рис. 3. Интерфейс программы диагностики грудной клетки здорового человека

### Биологические объекты

Изображение поперечного среза кости (рис. 2) и результаты исследования приводятся в табл. 3.

Структура кости на срезах напоминает строение губчатого вещества и построена из костных балок с ячейками-порами между ними. Физические свойства пористого материала зависят от структуры и размера пор.

**Таблица 3. Влияние информационных преобразований на меры устойчивости ( $\Delta_i$ ) и адаптивность  $A_m = \Delta_i^{1/m}$  к перестройке информационной системы костной структуры (выделены предельные подсистемы адаптации)**

| $i \backslash m$ | 1 | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta_i$       | – | 0,465 | 0,380 | 0,324 | 0,285 | 0,255 | 0,232 | 0,213 |
| 1                |   |       |       |       | •     |       |       | •     |
| 2                |   |       |       |       |       |       |       |       |
| 4                |   |       | •     |       |       |       |       |       |
| 8                |   |       |       | •     |       |       | •     |       |
| 16               |   |       |       |       | •     |       |       |       |
| 32               |   |       |       |       |       |       |       |       |
| 64               |   |       |       |       |       |       | •     |       |
| 128              |   |       |       |       |       |       |       |       |

Из анализа фотографии поперечного среза кости установлены предельные подсистемы адаптации  $A_m^*$ :  $\Delta_3^{1/8}$ ,  $\Delta_4^{1/8}$ ,  $\Delta_5^{1/16}$ ,  $\Delta_7^{1/64}$ .

Наблюдаются самоподобные структуры ( $\Delta_5^1$ ) и ( $\Delta_8^1$ ) с числом перестроек структуры  $m = 1$ , что является следствием пористости структуры кости. В соединительной «балочке» (на фото центральная часть) кости присутствует периодическая структура  $\Delta_8^{1/8}$ . Мультифрактальный анализ структуры изображений легкого здорового и больного человека и результаты работы программы диагностики по флюорограммам приводятся на рис. 3, 4 и представлены в табл. 4. Из анализа флюорограммы грудной клетки здорового человека получены предельные состояния:  $\Delta_4^{1/8}$ ,  $\Delta_6^{1/32}$ . Наблюдаются периодические перестройки:  $\Delta_4^{1/4}$ ,  $\Delta_5^{1/2}$ ,  $\Delta_5^{1/8}$ ,  $\Delta_8^{1/8}$ .

При диагнозе туберкулез (ТБС) к предельным состояниям здорового человека  $\Delta_4^{1/8}$ ,  $\Delta_6^{1/32}$  добавилось предельное состояние  $\Delta_5^{1/16}$ . Наблюдается самоподобная структура  $\Delta_8^1$  при  $m = 1$ , нет периодических перестроек, возможно, идет образование крупных пористых структур (каверны).

### **Металлы после воздействия ЭМ-полей**

Результаты мультифрактального анализа фотографий шлифов меди и бронзы (Cu + 6 % Sn), обработанных электромагнитными импульсами наносекундной длительности, приводятся на рис. 5–8 и в табл. 5.

В результате облучения возникают предельные подсистемы адаптации у бронзы  $\Delta_5^{1/16}$ , у меди  $\Delta_3^{1/4}$ . Появляются самоподобные преобразования с  $m = 1$  и  $\Delta_2^1$  у меди, и  $\Delta_3^1$  у бронзы, что связано с образованием крупных пористых структур (таблица 5).

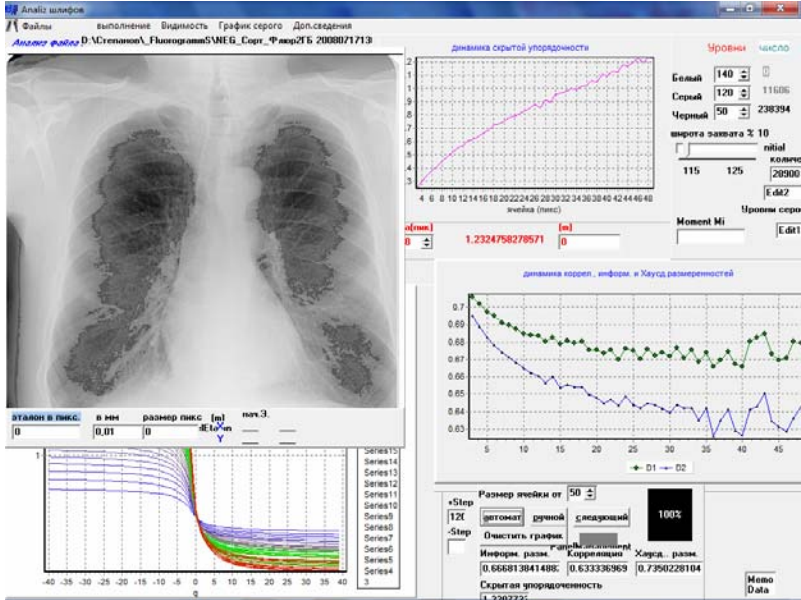


Рис. 4. Интерфейс программы диагностики грудной клетки с диагнозом туберкулез

Таблица 4. Влияние информационных преобразований на меры устойчивости ( $\Delta_i$ ) и адаптивность

| $i$        | 1 | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta_i$ | — | 0,465 | 0,380 | 0,324 | 0,285 | 0,255 | 0,232 | 0,213 |
| $m$        |   |       |       |       |       |       |       |       |
| 1          |   |       |       |       |       |       |       | ●     |
| 2          |   |       |       |       | ○     |       |       |       |
| 4          |   |       |       | ○     |       |       |       |       |
| 8          |   |       |       | ○ ●   | ○     |       |       | ○     |
| 16         |   |       |       |       | ●     |       |       |       |
| 32         |   |       |       |       |       | ○ ●   |       |       |
| 64         |   |       |       |       |       |       |       |       |
| 128        |   |       |       |       |       |       |       |       |

$A_m = \Delta_i^{1/m}$  к перестройке информационной системы флюорограммы грудной клетки человека (○ – диагноз «здоров») и больного (● – диагноз ТБС) (выделены предельные подсистемы адаптации). Оптическая плотность 120

Современные методы и компьютерные программы дают дополнительные возможности для изучения и создания новых материалов

и прогнозирования их свойств, на основе их связи не с исходной микроструктурой, а с динамической мезоструктурой, самоорганизующейся в неравновесных условиях [9].

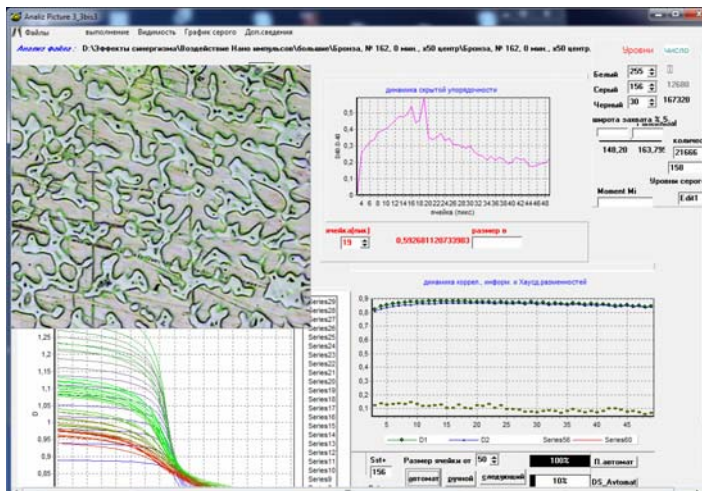


Рис. 5. Структура бронзы, увеличение  $\times 50$ .  
Нагрев до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  без проведения обработки

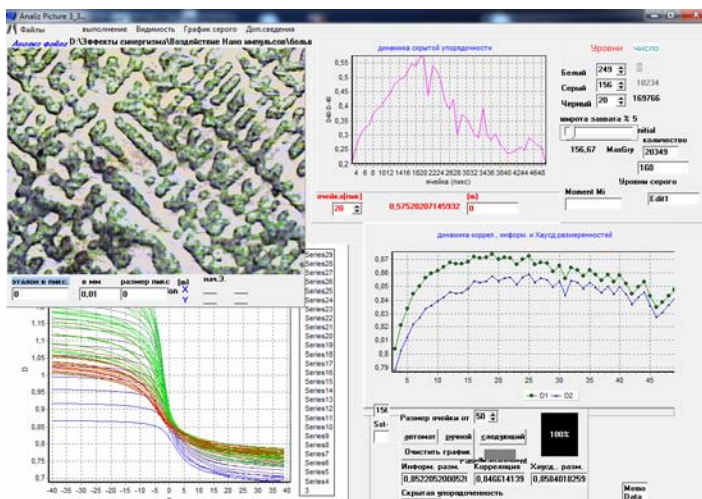


Рис. 6. Структура бронзы, увеличение  $\times 50$ .  
Нагрев до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и обработка 15 мин наноэлектромагнитными импульсами

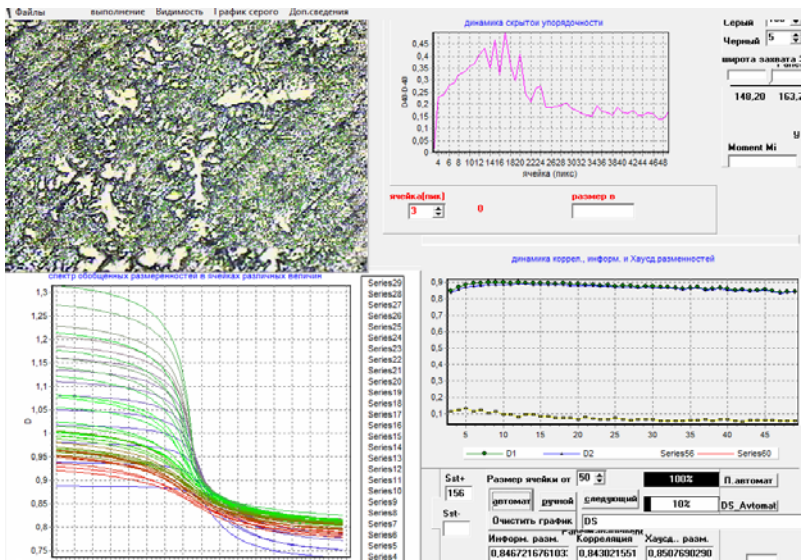


Рис. 7. Структура Cu, увеличение  $\times 50$ .  
Нагрев до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  без проведения обработки

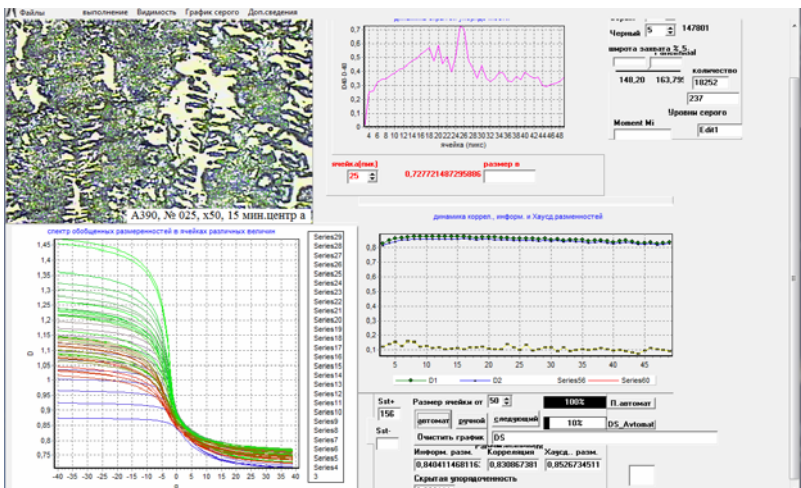


Рис. 8. Структура Cu, увеличение  $\times 50$ .  
Нагрев до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и обработка 15 мин нанозлектромагнитными импульсами

**Таблица 5. Портрет информационных преобразований фотографии структуры шлифа бронзы Cu + 6 % Sn и электролитической меди, подвергнутой облучению в жидком состоянии нанозлектромагнитными импульсами в течение 15 мин и охлажденных на воздухе**

| $i \backslash m$ | 1 | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta_i$       | – | 0,465 | 0,380 | 0,324 | 0,285 | 0,255 | 0,232 | 0,213 |
| 1                | ■ | ■     | ●     |       |       |       |       |       |
| 2                |   |       | ○ □   | ■     | □     |       |       |       |
| 4                |   |       | ■     | □     | ○     |       |       |       |
| 8                |   |       |       |       |       |       |       |       |
| 16               |   |       |       |       | ●     |       |       | ○     |
| 32               |   |       |       |       |       |       | ■     |       |
| 64               |   |       |       |       |       |       |       |       |
| 128              |   |       |       |       |       |       |       |       |

Обозначения: ● – бронза, ■ – медь, ○ – нагрев Cu + 6% Sn до 1200 °С без проведения обработки, □ – нагрев электролитической меди до 1200 С без проведения обработки

## Выводы

Высокая информативность мультифрактального анализа флюорограммы грудной клетки после различных изменений в структуре легкого в результате заболеваний делает его основой для контроля оптимальности диагностирования различных состояний и режимов лечения заболеваний и динамики протекания болезни, в том числе для контроля потери адаптивных свойств легкого в процессе жизнедеятельности.

Пористость материалов кости, металла, легких легко обнаруживается по изображению структуры, благодаря присутствию в ее информационной системе самоподобных структур адаптации с числом перестроек  $m = 1$ .

## Список литературы

1. Беркович, С. Я. Клеточные автоматы как модель реальности. Поиск новых представлений физических и информационных процессов. – М. : Издательство Московского университета, 1993. – С. 112.
2. Фрактальный анализ рентгенограмм / В. П. Иванников, В. А. Степанов, В. В. Белых, В. Г. Суфиянов // Вестник ИжГТУ. – 2009. – № 3. – С. 150–154.
3. Иванова, В. С. Мезомеханика фрактальных структур в нелинейных условиях / В. С. Иванова, Г. В. Встовский // Физическая мезомеханика. – 1999. – Т. 2. – № 5. – С. 19–25.
4. Востовский, Г. В., Колмаков, А. Г., Терентьев, В. Ф. // Материаловедение. Вестник ВГУ. – 1999. – № 16. – С. 6–51.



5. Иванова, В. С. Универсальность самоорганизации динамических структур живой и костной природы // Синергетика : сб. трудов. – 1999. – № 2. – С. 85–38.

6. Степанов, В. А. Автоматизированная система для скрининговой диагностики туберкулеза легких на основе анализа фрактальных объектов : дис. ... канд. техн. наук. – Курск, 2013. – 123 с.

7. Востовский, Г. В. Мультифрактальный анализ особенностей поверхностей разрушения приповерхностных слоев молибдена / Г. В. Востовский, А. Г. Колмаков, В. Ф. Терентьев // Металлы. – 1993. – № 4. – С. 164–177.

8. Мультифрактальный метод тестирования устойчивости структур в материалах. Интерконтакт / В. С. Иванова, Г. В. Востовский, А. Г. Колмаков, В. Н. Пименов. – М. : Наука, 2000. – С. 55.

9. Синергетика и фракталы в материаловедении / В. С. Иванова, А. С. Баланкин, И. Ж. Бунин, А. А. Оксогоев. – М. : Наука, 1994. – 383 с.

10. Белых, В. В. Воздействие электромагнитных импульсов наносекундной длительности на теплофизические свойства меди и ее сплава с оловом / В. В. Белых, В. А. Степанов // Магнитные явления. – Вып. 5. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – С. 26–30.

### **The universal mechanism for informational image transformations of material structures of various nature**

**Abstract.** *This paper describes the results of the computer analysis of image structures of various materials (bones, metals, fluorogram chest). On the basis of information transformation and multifractal parameterization investigated processes of resistance and disintegration dynamic mesostructures that allows you to monitor changes in the structure under the influence of external factors, or in the process of dynamic development.*

**Keywords:** fractal, multifractal, nonlinear dynamic systems, structure, self-organization, self-similarity, adaption, bone, metal, fluorogram, diagnosis.

*В. А. Стрижак*, канд. техн. наук, доц.

E-mail: pmkk@istu.ru

*Р. Р. Хасанов*, магистрант

E-mail: beif@mail.ru

*А. В. Пряхин*, зав. лабораторией

E-mail: pmkk@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Особенности возбуждения ЭМА-датчика для дефектоскопа АДНШ

*Рассмотрены особенности поведения системы ЭМА – излучатель, ЭМА – приемник, аналоговый тракт регистрации при изменении временной задержки между ведущим и ведомым зондирующими импульсами. Произведен поиск оптимальной величины задержки между ними.*

**Ключевые слова:** генератор для ЭМА-преобразователя, волноводный контроль, датчик.

Неразрушающий контроль с использованием волноводного акустического метода реализован в дефектоскопе АДНШ для контроля тела прутков диаметром 15–36 мм [1–2]. Генератор двойного ударного импульса (1-й импульс ведущий, 2-й импульс ведомый) позволяет реализовать двухполярное возбуждение излучателя, уменьшающее влияние зондирующего импульса на приемный ЭМА-преобразователь и входной тракт усиления дефектоскопа [3–5]. Каждый канал генератора построен по ключевой схеме и создает зондирующий импульс в излучателе  $L$  за счет энергии накопленной в конденсаторе  $C$  (рис. 1).

Частота возбуждаемого импульса определяется как параметрами электрической цепи  $LC$ , так и параметрами механического резонанса. Механический резонанс в системе излучатель – объект контроля соответствует условию:

$$X = 1 / 4\lambda,$$

где  $X$  – расстояние от излучающей катушки до торца прутка, а  $\lambda$  – длина волны, возбуждаемой в прутке. Для принимающей катушки ЭМА-преобразователя характерны те же особенности, что и для излучателя.

При скорости акустической волны в прутке 5200 м/с и рабочей частоте приемного тракта 25 кГц координата  $X$  составляет 52 мм.

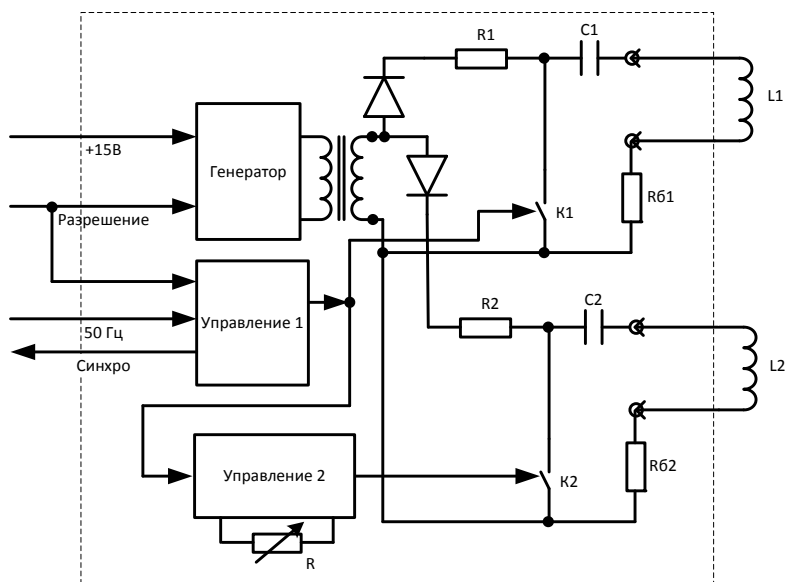


Рис. 1. Структурная схема генератора двойного импульса

Для оценки частотных свойств системы, состоящей из датчика и аналогового тракта, использована экспериментальная установка (рис. 2), состоящая из генератора, нагруженного на излучатель – 7 витков, принимающей катушки – 500 витков с частотозадающим конденсатором (частота резонанса 24 кГц) и усилительной системы дефектоскопа АДНШ с программным обеспечением [6]. Катушка излучателя и катушка приемника создают трансформатор, возбуждаемый синусоидальным сигналом генератора в непрерывном режиме. В качестве сердечника трансформатора используется фрагмент тела насосной штанги с условным диаметром 19 мм.

АЧХ совместного воздействия резонансных элементов в системе «излучатель – объект контроля – приемник» показано на рисунке (рис. 3). Верхний график показывает работы резонансной системы датчика. Нижний график демонстрирует влияние на систему электронных компонентов аналогового тракта дефектоскопа. Аналоговый тракт не мешает работе датчика  $24 \pm 5$  кГц, но значительно ограничивает высокочастотные и низкочастотные помехи в системе.

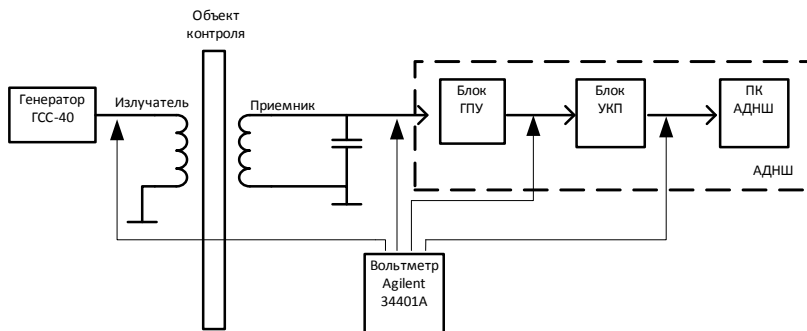


Рис. 2. Структурная схема экспериментальной установки

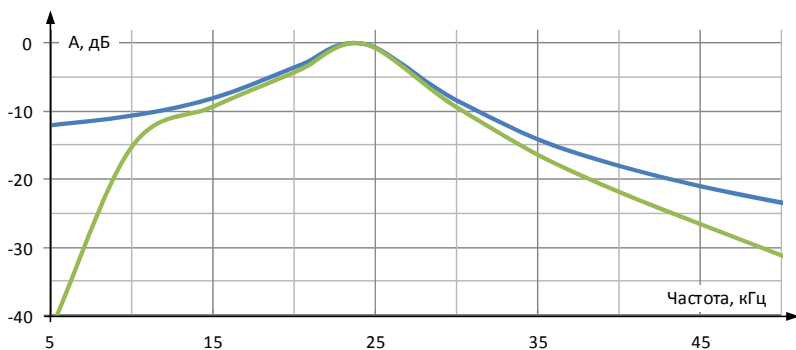


Рис. 3. Резонансная система датчика и аналогового тракта

Для оценки влияния дополнительного (второго) зондирующего импульса произведена регистрация сигналов с приемной катушки через аналоговый тракт дефектоскопа АДНШ при различном времени  $t$  между ведущим и ведомым зондирующими импульсами. В эксперименте проведена регистрация амплитуды  $A$  донного (отраженного от противоположного торца прутка) импульса и измерена длительность  $T$  воздействия зондирующего импульса на приемный тракт по уровню 50 % от амплитуды донного импульса.

Результаты эксперимента представлены на рисунке (рис. 4). Интервал времени  $t$  между зондирующими импульсами представлен по горизонтальной оси. По левой вертикальной оси отложена длительность  $T$  воздействия зондирующего импульса на приемный тракт. По правой вертикальной оси отложена амплитуда  $A$  первого донного импульса на

выходе аналогового тракта дефектоскопа (приведена в условных единицах). По мере увеличения интервала времени  $t$  длительность влияния зондирующего импульса  $T$  падает, а амплитуда донного импульса  $A$  – растет. С интервалом в 40 мкс исследуемые параметры достигают наилучших значений:  $T = 340$  мкс,  $A = 1,5$ . При дальнейшем увеличении интервала  $T$  исследуемые параметры  $t$  и  $A$  ухудшаются. Интервал времени в 40 мкс при скорости акустической волны в прутке 5200 м/с соответствует расстоянию  $L = 0,2$  м, что совпадает с длиной волны акустических импульсов частотой 25 кГц.

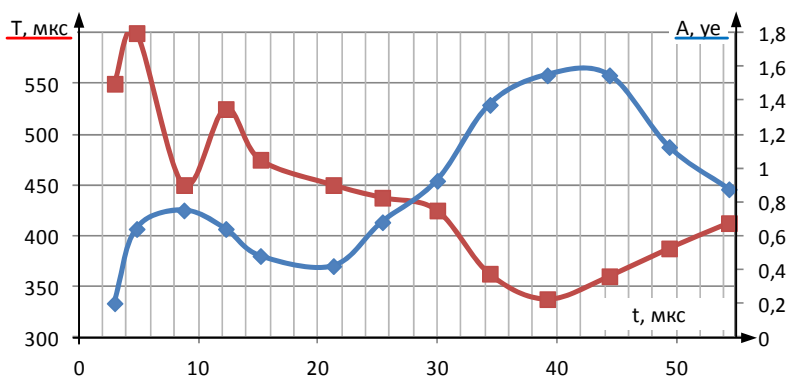


Рис. 4. РШХ и амплитуда донного импульса в зависимости от интервала времени между зондирующими импульсами

## Выводы

Дополнительный зондирующий импульс позволяет резко сократить время воздействия зондирующего импульса на приемный тракт дефектоскопа. Определен оптимальный интервал между зондирующими импульсами в 40 мкс, соответствующий максимальной амплитуде донного импульса и минимальной длительности релаксационных процессов в системе датчик – измерительный тракт.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-19-00051).*

## Список литературы

1. Реальная чувствительность входного акустического контроля прутков-заготовок при производстве пружин / О. В. Муравьева, В. В. Муравьев,

В. А. Стрижак, Е. Н. Кокорина, М. А. Лойферман // В мире неразрушающего контроля. – 2013. – № 1(59). – С. 52–60.

2. Опыт приемочного акустического контроля и упрочнения насосных штанг при сервисном обслуживании / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая, Н. А. Кокорин, В. А. Стрижак // В мире неразрушающего контроля. – 2007. – № 4. – С. 14.

3. Хасанов, Р. Р. Модификация генератора зондирующих импульсов дефектоскопа АДНШ / Р. Р. Хасанов, А. В. Пряхин, В. А. Стрижак // 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. – С. 241–246.

4. Хасанов, Р. Р. Оптимизация параметров схемы возбуждения ЭМА датчика / Р. Р. Хасанов, А. В. Пряхин, В. А. Стрижак // 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. – С. 246–253.

5. Злобин, Д. В. Особенности построения аппаратуры электромагнитно-акустической дефектоскопии пруткового проката с использованием стержневых волн / Д. В. Злобин, О. В. Муравьева // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2012. – № 4. – С. 99–104.

6. Информационно-измерительная система возбуждения, приема, регистрации и обработки сигналов электромагнитно-акустических преобразователей / В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, С. А. Обухов, А. Б. Ефремов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 243–250.

## **Features of excitement of EMA of the sensor for the defectoscope ADNSH**

**Abstract.** *The features of the behavior of the system EMA transducer, EMAT receiver, the analog reception path when you change the time delay between master and slave probe pulses. Searched the optimal value of the delay between them.*

**Keywords:** generator for the EMA transducers, guided wave monitoring, the sensor.

УДК 504.75(045)

*Н. Ф. Хафизова*, канд. экон. наук, доцент

E-mail: agni.57@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

*Н. Н. Торжкова*, советник юстиции 3-го класса, помощник судьи

E-mail: fiza.80@mail.ru

Арбитражный суд Удмуртской Республики

*В. С. Шишкин*, студент

E-mail: sagleft@inbox.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Проблемы безопасности жизнедеятельности при использовании наноматериалов в электронной технике**

*В статье рассматриваются проблемы распространения наноматериалов в сферу жизнедеятельности человека. Практика использования наноматериалов при изготовлении бытовой электронной техники выявляет факты недостаточной изученности последствий воздействия наноматериалов на живые организмы.*

**Ключевые слова:** наноматериалы, нанотоксикология, безопасность человека.

Впервые вопрос о возможной угрозе человечеству в связи с широким использованием наноматериалов обсуждался на всемирном экономическом форуме в Давосе в 2010 году. Актуальность проблемы определяется тем, что исследования в области нанотехнологий не сопровождаются исследованиями воздействий наночастиц на экосистему и человека.

Наночастицы – это микроскопические образования размером не более 100 нанометров (нанометр – одна миллиардная доля метра). Поэтому любые объекты с линейными размерами меньше 1000 нм формально попадают под определение «нано» [5].

До момента промышленного использования наноматериалов, наночастицы попадали в живые организмы и окружающую среду лишь в результате природных процессов: песчаных бурь, извержений вулканов, лесных пожаров и т. п. Наночастицы природного происхождения находят в некоторых видах бактерий (рис. 1), синтезирующих магнит-

ные наночастицы для ориентирования в магнитном поле Земли. Гидрофобные брохосомы (воздушные белковые шарики наноразмеров, рис. 2) защищают цикад от внешней влаги и т. д. [8]

Синтетические наночастицы обладают повышенной опасностью в отличие от частиц природного происхождения. Это выражается в том, что системы защиты человеческого организма не приспособлены к ликвидации внешних объектов не разлагаемого организмом вещества столь малого размера с высокой проникающей способностью и бесконтрольным отложением в тканях.

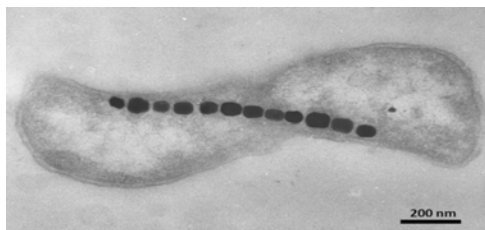


Рис. 1. Цепочка из магнитных наночастиц (магнетосома) бактерии

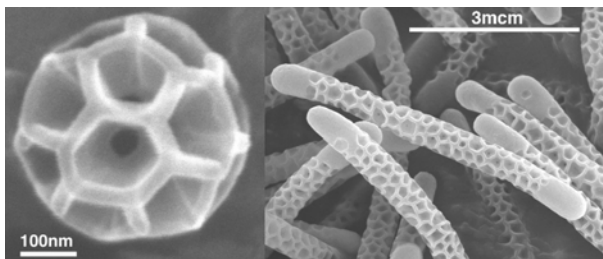


Рис. 2. Брохосомы размером насекомых семейства Cicadellidae (0,2–20 мкм)

Наночастицы попадают внутрь организма также в роли агента или компонента лекарственного средства, получая тем самым возможность встраиваться в пищевые цепи. Такие частицы способны проникать внутрь клетки эпителия (ткань, выстилающая поверхность кожи), распространяются по ходу отростков нервных клеток, кровеносных и лимфатических сосудов. Они избирательно накапливаются в разных типах клеток и в определенных клеточных структурах. Благодаря своим малым размерам частицы легко проходят ГЭБ (гематоэнцефалический барьер – сложная многоступенчатая система защиты, ограничивающая доступ химических веществ к нейронам), что приводит к их накоплению в тканях головного мозга. Высокая проникающая способ-



ность наночастиц повышает потенциальную опасность для здоровья человека.

В химической промышленности по умолчанию принято утверждение, что если большие частицы какого-либо вещества безопасны, то и в измельченном виде такое вещество не нанесет вреда. Но такое утверждение несправедливо для наночастиц. У частиц с размерами менее 100 нм и 50 нм ярко выражены различия в свойствах вещества. Так, температура плавления наночастиц золота на 300 °С ниже температуры плавления золота в слитках, а парамагнитные в обычном состоянии платина и палладий в виде наночастиц приобретают магнитный момент. Фактором, определяющим различия физических свойств вещества, является соотношение между поверхностью частицы и ее объемом. Поверхностные атомы имеют более слабые связи и обладают избыточной энергией [3].

Современное развитие науки и техники вызывает постоянный рост использования синтетических наноматериалов в промышленности. Человек постоянно находится в контакте с изделиями, при изготовлении которых используются вещества наноразмеров: ноутбуки, персональные компьютеры, телефоны, смартфоны и др. Материалы в виде частиц наноразмеров используются практически во всех отраслях промышленности, в медицине, в химической промышленности, в строительстве.

В России также разрабатываются современные нанотехнологии и наноматериалы. Имеются прогрессивные научные разработки на основе углеродных нанотрубок. Было обнаружено, что при нанесении углеродных нанотрубок на поверхность кремниевой подложки в месте контакта этих двух материалов возникает область, чрезвычайно чувствительная к свету. Фокусировка света лазера на этой области приводит к резкому повышению электрического тока, индуцированного потоком света. Такое необычное поведение материалов позволило ученым создать на базе кремния и углеродных нанотрубок логические схемы, функциями которых можно управлять как электрическим, так и оптическим способами. Указанный принцип действия используется в электронных устройствах, имеющих информационные входы электрического и оптического типа, например в существующей технологии производства полупроводниковых CMOS-чипов [7].

Новые высокоэффективные технологии на основе углеродных нанотрубок используют для отвода лишнего тепла и снижения перегрева микропроцессоров, задействованных в современных компьютерах, планшетных компьютерах и смартфонах. Проблема перегрева актуальна с ростом плотности упаковки чипов. Углеродные нанотрубки

имеют очень высокий показатель удельной теплопроводности, что позволяет отводить через них большое количество тепловой энергии [4].

При создании новых наноматериалов использованы уникальные свойства кремния в полимерных соединениях. Новые материалы представляет собой электрически проводящие наночастицы, покрытые полимерным материалом (шириной 5 нм), атомы которого имеют положительный электрический потенциал. Эти частицы окружены отрицательно заряженными атомами, заряды которых компенсируют положительный заряд частиц. При протекании через материал электрического тока специальной формы и силы, отрицательные атомы могут перемещаться по направлению тока. Положительные частицы остаются при этом неподвижными. На основе таких свойств «обратимости материала» ученые предлагают управлять процессами и потоками данных в компьютере, обеспечивая его максимальную производительность. [5]

Применение наноматериалов в электронике позволяет менять внутреннюю архитектуру микропроцессоров и компьютеров под решение конкретных задач разного рода. Ячейки из наноматериала под воздействием внешнего сигнала (внешней программы) могут изменять свои функции: за счет управления движением электрического тока через сплошной материал их можно использовать то в роли проводника, то в качестве полупроводника. Ученые считают, что возможно в одном материале создать несколько потоков заряженных частиц, в том числе текущих в противоположных направлениях, но при этом не мешающих друг другу.

С использованием наночастиц в центральных процессорах компьютера значительно увеличивается скорость работы, в средствах хранения информации повышается объем хранения данных. За счет использования наноматериалов в электронике создаются сверхчувствительные антенны и радиопоглощающие устройства. На основе наночастиц с размерами, сопоставимыми с размером молекул, разрабатываются молекулярные роботы и нанороботы. Разрабатываются современные устройства, в которых для повышения скорости обмена информацией между компьютерными чипами или отдельными частями одного и того же чипа вместо металлических электропроводников используют волноводы и оптоэлектронные компоненты, с помощью которых данные будут передаваться при помощи импульсов света. В оптоэлектронных устройствах для оптической обработки информации задействуют импульсы света. Можно сказать, что на базе передовых нанотехнологий сегодня создаются основы будущих оптических вычислительных систем [6].

На фоне стремительного развития нанотехнологий современная нанотоксикология сильно отстает, притом что резко возрастает объем наночастиц антропогенного происхождения в окружающей среде. Изначально предполагается, что наночастицы практически не влияют на процессы в живых клетках, т. к. частицы в наноматериалах в подавляющем большинстве случаев находятся в связанном состоянии в составе инертных матриц (полупроводниковые кристаллы в микропроцессорах, нанопокртия режущих инструментов и т. д.). Токсичность нанокompозитных материалов, по мнению разработчиков, не представляет серьезной угрозы. Однако знаний о токсичности наночастиц пока недостаточно, а имеющиеся на сегодня сведения зачастую противоречивы. На данный момент даже не разрабатываются алгоритмы технологических действий по снижению токсичности наноматериалов. Хотя, по мнению некоторых ученых, пользователям современной электронной техники следует знать о возможных негативных последствиях контакта с электронными устройствами: необходимо учитывать возможность проникновения наночастиц через кожу в кровь и др. органы человека, повреждения наночастицами ДНК и др. Экологи настаивают на необходимости проведения обязательной оценки безопасности разрабатываемых наноматериалов для человека и окружающей среды [7].

В ходе проведенного исследования нами был организован социологический опрос мнения потребителей современной бытовой техники о безопасности изделий с использованием наночастиц. Было опрошено 120 человек, среди них основную часть составляли студенты технического вуза. Выяснилось, что о наличии наночастиц в некоторых видах продукции знает лишь около 25 %. Из них только 60 % считают, что наноматериалы небезопасны для здоровья. В табл. 1 представлены категории респондентов.

Результаты соопроса можно представлены на диаграммах (рис. 3).

*Таблица 1. Деление респондентов на категории*

| Группа       |                      | Процент опрошенных |
|--------------|----------------------|--------------------|
| Образование  | Среднее              | 12,5               |
|              | Незаконченное высшее | 37,5               |
|              | Высшее               | 50                 |
| Возраст, лет | 14–18                | 8,3                |
|              | 19–25                | 54,1               |
|              | 26–35                | 20,9               |
|              | 36–55                | 16,7               |

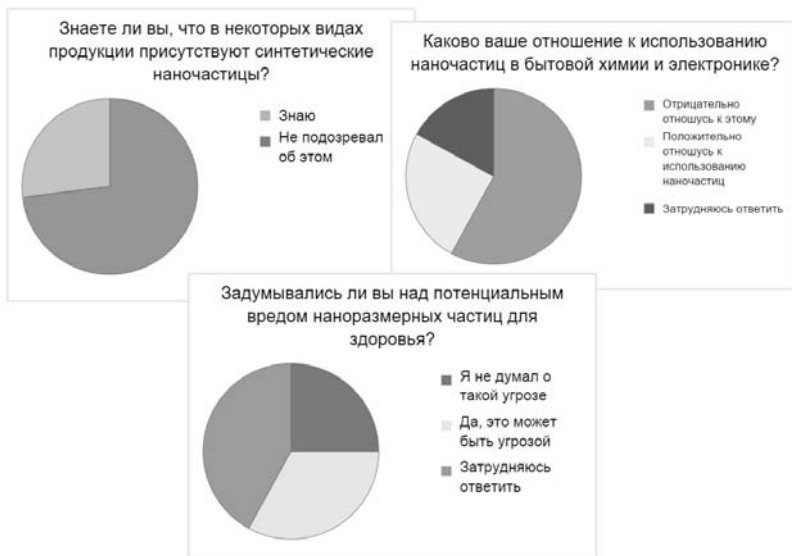


Рис. 3. Результаты социологического опроса среди студентов

Результаты проведенного исследования позволяют сделать вывод о недостаточной информированности потребителей о свойствах современной бытовой техники. Даже современные молодые люди, активно осваивающие технические дисциплины, напрямую связанные с современной техникой, мало знакомы с жизненно важными эксплуатационными характеристиками широко используемых электронных приборов. Проведенный в рамках исследования анализ судебной практики по защите прав потребителя, связанной с необъективной информацией о товарах, содержащих наночастицы, также подтверждает указанный вывод. Если положение дел в области нанотоксикологии в ближайшее время не изменится, негативные последствия проникновение наночастиц в биосферу могут стать необратимыми. В природе не существует защиты от веществ со свойствами, не встречающимися в обычной среде обитания.

#### Список литературы

1. Безопасность и правовой статус наноматериалов и нанопродуктов // Экологический вестник России. – 2009. – № 11. – С. 46–48.
2. Будьте осторожны, следующая остановка – «нанозэра» // Экологический вестник России. – 2008. – № 5. – С. 30–33.

3. Будьте осторожны, следующая остановка «наноэра», или Нуждаются ли нанотехнологии в правовом регулировании? // Экологический вестник России. – 2009. – № 3. – С. 27–29.

4. Все о РОСНАНОТЕХ // Экологический вестник России. – 2008. – № 5. – С. 25–29.

5. *Игнатов, А. Н.* Микросхемотехника и нанозлектроника : Учебное пособие. – СПб. : Лань, 2011. – 528 с.

6. *Леонтьев, А.* Наноматериалы могут быть опасными для людей и окружающей среды // Коммерсантъ. Наука. – 2011. – № 7 от 03.10.2011. – С. 84.

7. Нанотехнологии: общество, этика, риски [Коллективная монография] / Институт философии РАН, Московский гуманитарный университет ; отв. ред. Б. Г. Юдин, сост. Р. Р. Белялетдинов. – М. : Изд-во Моск. гуманит. ун-та, 2010. – 156 с.

8. *Колтаков, Г.* Наночастицы небезопасны для здоровья человека // Экологический вестник России. – 2008. – № 4. – С. 21–23.

### **Health and life safety issues when using nanomaterials in electronics**

**Abstract.** *The article deals with the problem of dissemination of nanomaterials in the sphere of human activity. The practice of using of nanomaterials in the manufacture of consumer electronics reveals insufficient knowledge about impacts of nanomaterials to the living organisms.*

**Keywords:** nanomaterials, nanotoxicology, human security.

Ю. Н. Шелковникова, инженер  
E-mail: evshelk@mail.ru  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Особенности контроля реологических параметров буровых растворов при переменных температурах и давлении**

*Рассмотрено влияние температуры и давления на реологические параметры буровых растворов. Показана необходимость контроля этих параметров при тех температурах и давлениях, которые наблюдаются при строительстве каждой конкретной скважины. Предложен новый вискозиметр для осуществления такого контроля.*

**Ключевые слова:** реологические параметры, буровые растворы, вискозиметр.

При современных глубинах и достигнутом уровне техники и технологии бурения процесс промывки является одним из важнейших циклов при строительстве скважины. Буровой раствор является средой, через которую передается гидравлическая мощность от наземного оборудования долоту, а также удаляется с забоя разрушенная порода. При приготовлении буровых растворов всегда нужно стремиться к тому, чтобы путем грамотного учета реологических характеристик этих растворов достигались высокие скорости бурения, высококачественное вскрытие продуктивных пластов, предупреждались всевозможные осложнения [1].

Условия бурения скважин различны не только для разных месторождений, но и для отдельных его участков. На промывочную жидкость влияет химический состав выбуренной породы, высокая пластовая температура, а также ее могут разбавлять пластовые воды. В результате в промывочной жидкости происходят сложные физико-химические процессы, изменяющие ее свойства, что может приводить к осложнениям при бурении. Поэтому для сохранения способности осуществлять требуемые функции буровым раствором необходимо контролировать его параметры в процессе бурения скважины [2].

Вопросу исследования изменений реологических свойств бурового раствора под воздействием температуры посвящены работы многих ученых (например, Р. И. Шищенко, Е. А. Яишиковой, Л. Д. Гурджинян, А. М. Аванесовой, М. Р. Мавлютова, Н. М. Касьянова, Л. К. Мухина, Г. Я. Дедусенко и др.). Однако конкретных и четких выводов на основании полученных данных в литературе не приведено. Анализ влияния температуры на структурную вязкость и динамическое напряжение сдвига буровых растворов показал, что в различных литературных источниках имеются по этому вопросу самые разнообразные сведения. Зависимость вязкости раствора от давления для значений, имеющих практический интерес при бурении, проявляется незначительно. Хотя и можно отметить, что с увеличением давления вязкость жидкостей возрастает. В целом, анализируя имеющиеся в литературе сведения о влиянии температуры и давления на физико-механические и реологические свойства промывочных жидкостей, следует заключить, что эти вопросы пока еще изучены далеко не достаточно и здесь необходимы дальнейшие исследования [3]. Взаимосвязь реологических характеристик с компонентным и долевым составами буровых растворов в формализованном обобщенном виде практически не изучена.

В процессе проводки скважины буровой раствор, закачиваемый через бурильную колонну, нагревается по мере приближения к забою, однако его температура остается ниже температуры окружающей среды. Проходя через кольцевое пространство, он может продолжать нагреваться, принимая тепло от массива пород и отдавая часть полученного тепла нисходящему потоку. Затем соотношение этих двух потоков тепла меняет знак, и при достижении максимальной температуры восходящий поток начинает охлаждаться. С подъемом, после того как температура восходящего раствора сравняется с температурой окружающих пород, он отдает тепло как раствору в бурильных трубах, так и окружающим породам. Кроме тепла, полученного от массива пород, в потоке бурового раствора в тепло превращается (за счет трения) и вся энергия, полученная раствором от насосов, энергия, израсходованная на преодоление трений раствора с бурильной колонной и стенками скважины, а также большая часть энергии, затраченной на вращение долота. При поддержании определенного расхода бурового раствора распределение температуры в скважине стабилизируется через несколько часов (или десятков часов) непрерывной циркуляции. До этого процесс распределения температуры остается нестационарным. После прекращения циркуляции геотермический баланс восстанавливается в течение нескольких часов, дней или месяцев [4].

Реологические свойства буровых растворов в забойных условиях и при давлениях и температурах окружающей среды на поверхности могут сильно отличаться. На больших глубинах давление столба бурового раствора может достигать 140 МПа, а температура (зависящая от геотермического градиента) на забое скважины при спуско-подъемных операциях может превышать 260 °С [5]. Даже весьма умеренные температуры могут оказывать значительное и, в основном, трудно прогнозируемое влияние на реологические свойства систем циркуляции жидкости. Вязкость буровых растворов в стволе скважины может оказаться большей или меньшей, чем измеренная на поверхности, а добавка, которая на поверхности снижает вязкость системы, в стволе скважины может привести к увеличению вязкости.

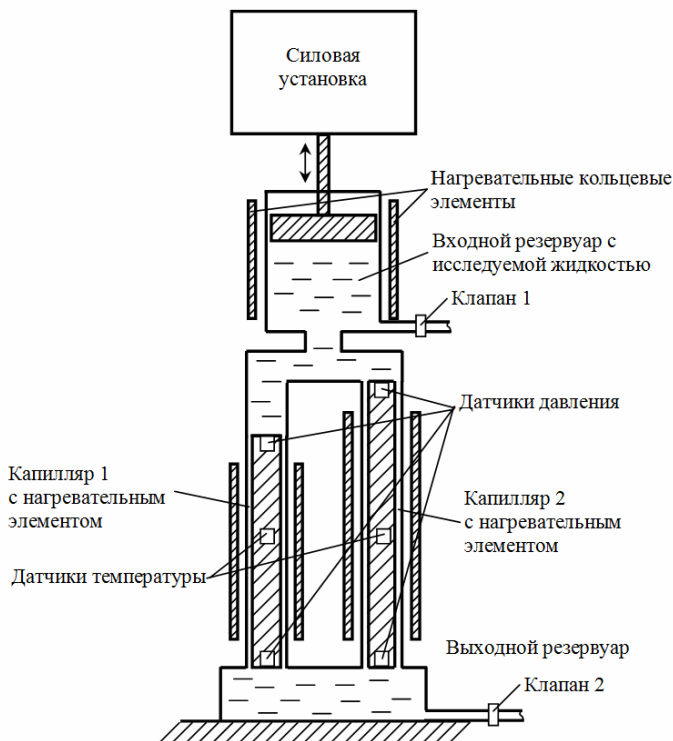
Высокие температуры и давления могут влиять на реологические свойства буровых растворов по-разному:

- физически (повышение температуры уменьшает вязкость, повышение давления – ее увеличивает);
- химически (все гидроксиды реагируют с глинистыми минералами при температурах выше 95 °С);
- электрохимически (повышение температуры усиливает ионную активность любого электролита и растворимость любых частично растворимых солей, которые могут присутствовать в буровом растворе).

Вследствие большого числа переменных факторов, влияющих на реологические свойства буровых растворов, предсказать их поведение при высоких температурах (особенно буровых растворов на водной основе) невозможно. Более того, их поведение вообще еще до конца не понятно. Даже очень малые различия в химическом составе могут вызывать значительные изменения в поведении системы циркуляции жидкости. Поэтому для обеспечения высоких показателей бурения необходимо получение надежной информации о реологических параметрах буровых растворов при тех температурах и давлениях, которые наблюдаются при строительстве каждой конкретной скважины. При этом буровой раствор необходимо контролировать каждый раз при изменении его химического состава.

Для исследования реологии буровых растворов при высоких температурах и давлениях можно использовать вискозиметры различных типов [5]. В данной работе предложен новый капиллярный вискозиметр, позволяющий одновременно определять вязкость и предел текучести сдвига при переменных температуре и давлении, основанный на предложенном способе определения реологических характеристик вязкопластических жидкостей [6]. Устройство вискозиметра представлено на рисунке.





Устройство капиллярного вискозиметра

Вискозиметр работает следующим образом. Силовая установка воздействует на исследуемую жидкость в входном резервуаре, который подсоединен к двум капиллярам различной длины со встроенными нагревательными элементами. Капилляры выполнены в виде кольцевых каналов, через которые прокачивается исследуемая жидкость. При этом датчики давления, расположенные на концах капилляров, измеряют на них перепады давления. На выходе капилляров установлены измерители расхода жидкости. При основном цикле работы «измерение» вискозиметра поршень движется вниз, входной клапан 1 закрыт, выходной клапан 2 открыт. При этом через капилляры 1 и 2 прокачивается исследуемый буровой раствор, измеряются температура и расход раствора, а также его давление на концах капилляров 1 и 2. При вспомогательном цикле работы вискозиметра поршень движется вверх, входной клапан 1 открыт, выходной клапан 2 закрыт, входной

и выходной резервуары с рабочей камерой заполняются исследуемой жидкостью. Измерительная информация с датчиков давления, расходов, датчиков температуры поступает в микропроцессор, который используется для вычисления величины вязкости и предельного напряжения сдвига согласно способу [6].

В целом, применение предложенного вискозиметра для контроля реологических параметров бурового раствора при тех температурах и давлениях, которые наблюдаются при строительстве скважины, позволит обеспечить высокие показатели ее бурения.

### Список литературы

1. Дмитриев, А. Ю. Основы технологии бурения скважин : учебное пособие. – Томск : ТПУ, 2008. – 216 с.
2. Жуховицкий, С. Ю. Промывочные жидкости в бурении. – М. : Недра, 1976. – 200 с.
3. Есьман, Б. И. Термогидравлика при бурении скважин. – М. : Недра, 1982. – 247 с.
4. Маковой, Н. Гидравлика бурения. – М. : Недра, 1986. – 536 с.
5. Грей, Дж. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей) / Дж. Грей, Г. С. Г. Дарли. – М. : Недра, 1985. – 509 с.
6. Патент РФ № 2244286. Способ определения реологических характеристик вязкопластических жидкостей / И. Б. Покрас, Ю. Н. Шелковникова. – № 2003132600; Заявл. 06.11.2003; Опубл. 10.01.2005, Бюл. № 1.

### **Peculiarities of control of the rheological parameters of drilling fluids at varying temperatures and pressures**

**Abstract.** *The influence of temperature and pressure on the rheological properties of drilling fluids is studied. The necessity of the control of these parameters at the temperatures and pressures that are observed during the construction of each particular well is shown. The new viscometer for the implementation of such control is proposed.*

**Keywords:** the rheological properties, fluids, viscosity.

### Секция 3. Приборы в системах управления и контроля

УДК 621.313

О. Л. Гизатуллина, аспирант

E-mail: Giz.Ol@yandex.ru

В. К. Барсуков, канд. техн. наук, проф.

E-mail: barsukov-v-k@ya.ru

Ижевский государственный технический университет

имени М. Т. Калашникова

#### **Моделирование распространенных видов схем источников питания нелинейных электроприемников**

*В статье рассматривается форма кривой тока для наиболее распространенных схем нелинейных электроприемников. Моделирование и расчет коэффициента гармонических искажений тока производятся в среде схемотехнического моделирования Multisim. Анализ схем позволит выявить особенности каждой схемы и возможные способы по снижению токовых искажений.*

**Ключевые слова:** нелинейный электроприемник, коэффициент гармонических искажений тока, Multisim.

В настоящее время существует большое количество нелинейных приемников, отличающихся друг от друга схемой исполнения [1]. Можно привести некоторую классификацию в зависимости от уровня искажения кривой тока. В данной статье анализируется форма кривой тока для наиболее распространенных видов схем нелинейных электроприемников (рис. 1, 9).

Исследование проводится в среде схемотехнического моделирования Multisim фирмы National Instruments.

На рис. 2–8, 10 представлены коэффициент гармонических искажений, кривые и спектр высших гармоник тока питания рассматриваемых электроприемников.

На рис. 1 приведена общая схема для рассматриваемых случаев.

Рассмотрим первый случай, когда в схеме 1 подключены только диоды ( $D_1$ – $D_4$ ) и сопротивление  $R_1$ , для этого убираем перемычку между диодным мостом и конденсатором  $C_1$  (рис. 2).

Кривая тока на входе имеет вид синусоиды, а на выходе благодаря диодному мосту переменный ток преобразовывается в пульсирующий. Коэффициент гармонических искажений очень маленький, меньше 1 %. В спектре только первая гармоника.

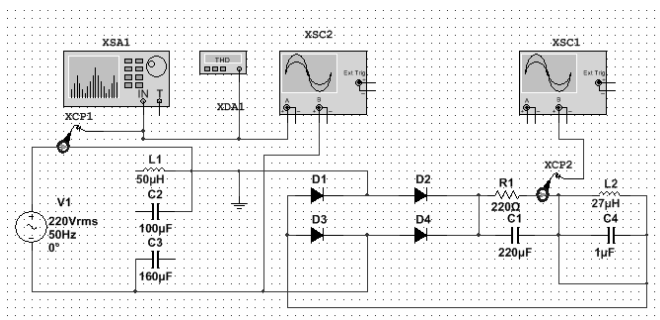


Рис. 1. Схема 1

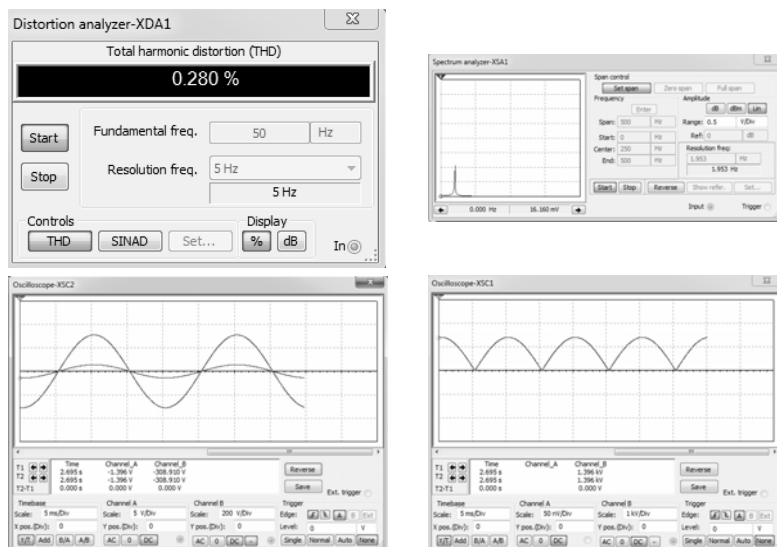


Рис. 2. Спектр и форма кривой тока для схемы 1 без подключения конденсаторов и индуктивного сопротивления

Во втором случае схему дополняем фильтром на конденсаторе  $C_1$ . При использовании конденсатора большой мощности кривая тока имеет на входе узкий треугольный импульс с продолжительностью време-

ни, равной заряду конденсатора  $C_1$  (рис. 3). В спектре высших гармоник 1, 2 и 3 гармоники примерно одинаковые. Коэффициент гармонических искажений достаточно высокий – около 138 %.

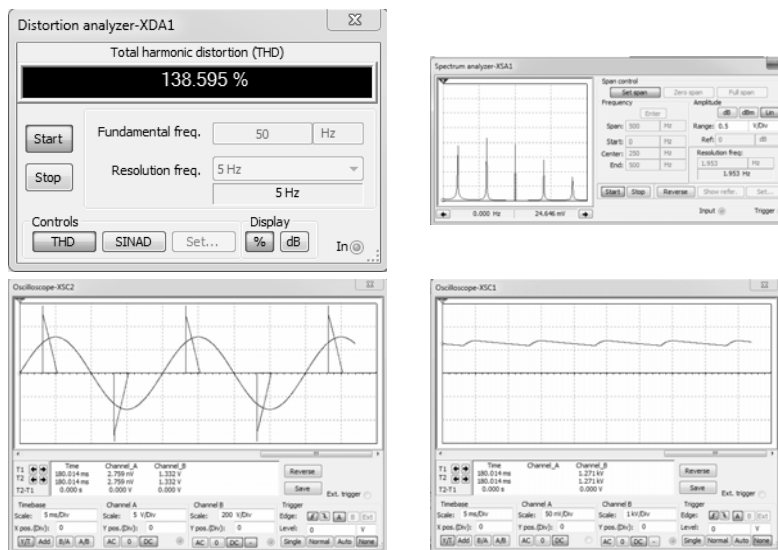


Рис. 3. Спектр и форма кривой тока для схемы 1 с подключением конденсатора  $C_1$

Дополним схему катушкой индуктивности  $L_1$ . Рассмотрим влияние индуктивности на форму кривой при различных ее значениях (рис. 4, 5). При взаимодействии конденсатора большой емкости  $C_1$  и индуктивности  $L_1$  кривая тока представляет собой узкий импульс с большим коэффициентом гармонических искажений. Амплитудный спектр высших гармоник тока характеризуется низкой скоростью затухания, все гармоники высших порядков. Чем больше значение индуктивности, тем меньше количество импульсов и выше коэффициент гармонических искажений.

Дополнительно в схему подключаем параллельно дросселю  $L_1$  (50 мкГн) конденсатор  $C_2$  (100 мкФ) (рис. 6). Форма кривой тока на входе описывает синусоиду с пульсацией. В спектре преобладают низкие гармоники. Включение  $LC$ -контура на входе позволяет минимизировать коэффициент гармонических искажений тока, сохранив высокий коэффициент мощности.

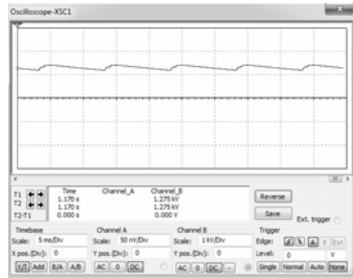
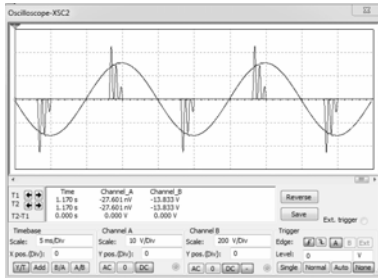
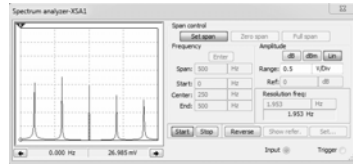
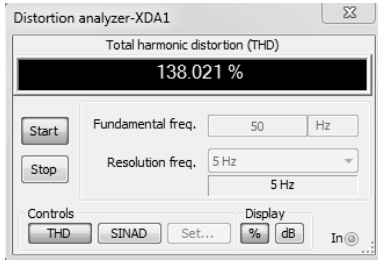


Рис. 4. Спектр и форма кривой тока для схемы 1 с подключением катушки индуктивности  $L_1 = 50$  мкГн

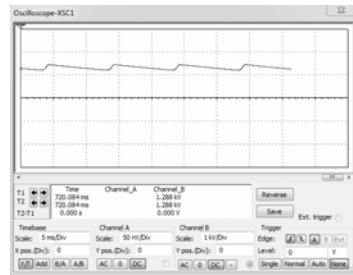
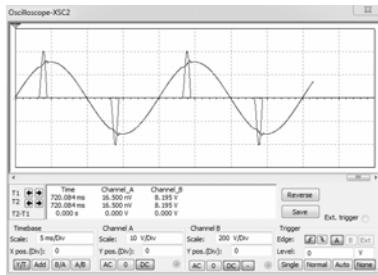
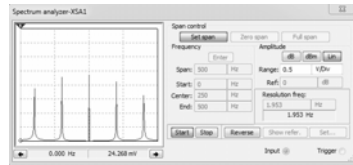
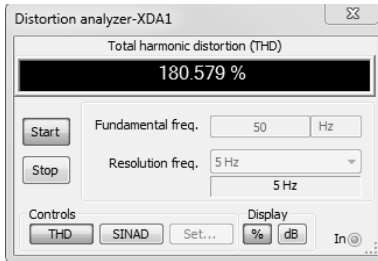


Рис. 5. Спектр и форма кривой тока для схемы 1 с подключением катушки индуктивности  $L_1 = 250$  мкГн

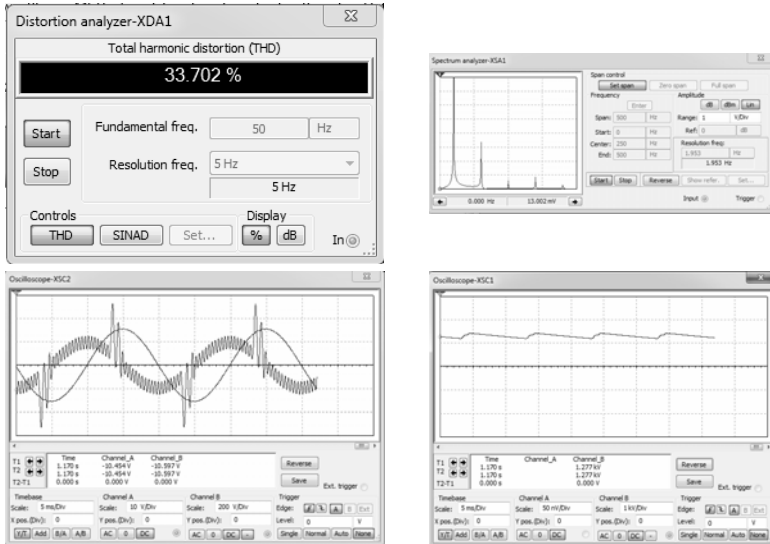


Рис. 6. Спектр и форма кривой тока для схемы 1 с подключением катушки индуктивности  $L_1$  и конденсатора  $C_2$

Рассмотрим следующий случай, в схеме 1 на входе отсоединим  $LC$ -контур и подключим конденсатор  $C_3$  (рис. 7). Кривая имеет вид синусоиды с небольшими импульсами. Как и в предыдущей схеме, коэффициент гармонических искажений низкий, а в амплитудно-частотном спектре в основном присутствуют низкие гармоники.

В схеме 1 уберем перемычку, которая закорачивает  $LC$ -контур на выходе, получим спектр и форму кривой тока, представленные на рис. 8. Из-за наличия на выходе выпрямителя  $LC$ , включающего в себя дроссель с индуктивностью  $L_2$  и конденсатор с небольшой емкостью  $C_4$ , в спектре преобладают в основном гармоники высоких порядков. При данной схеме коэффициент гармонических искажений достаточно высокий.

Рассмотрим вариант схемы с использованием дополнительных диодов, поочередно заряжающих конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  (рис. 9). Кривая тока имеет синусоидальный характер с небольшими скачками (рис. 10). Коэффициент гармонических искажений самый низкий из рассматриваемых схем – около 16%. В основном преобладают 1 и 3 гармоники. Данная схема подключения позволяет расширить импульс тока и, следовательно, снизить уровень несинусоидальности.

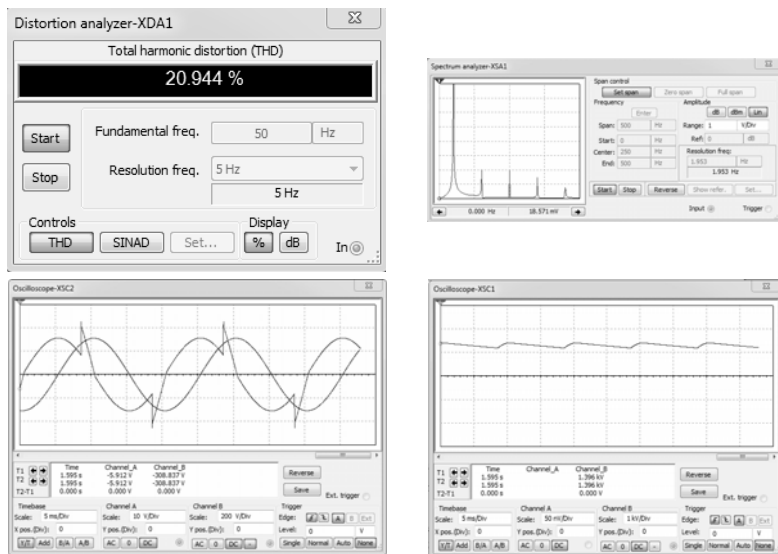


Рис. 7. Спектр и форма кривой тока для схемы 1 с подключением конденсатора  $C_3$

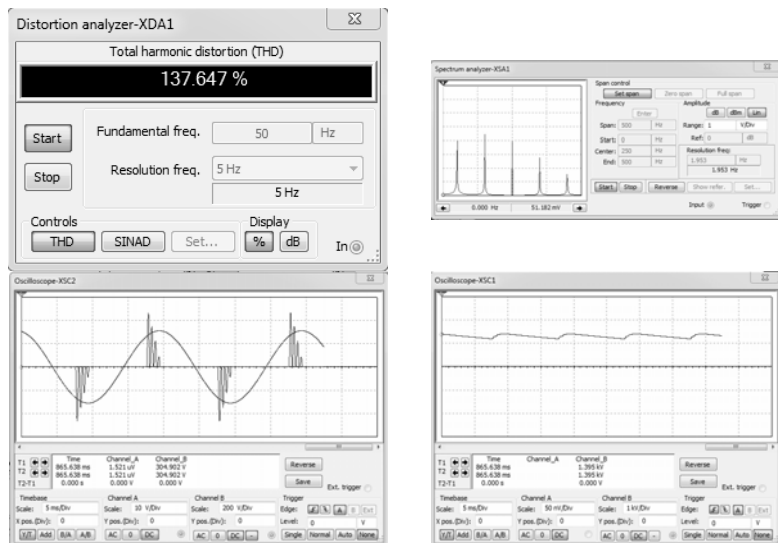


Рис. 8. Спектр и форма кривой тока для схемы 1 с подключением катушки индуктивности  $L_2$  и конденсатора  $C_4$



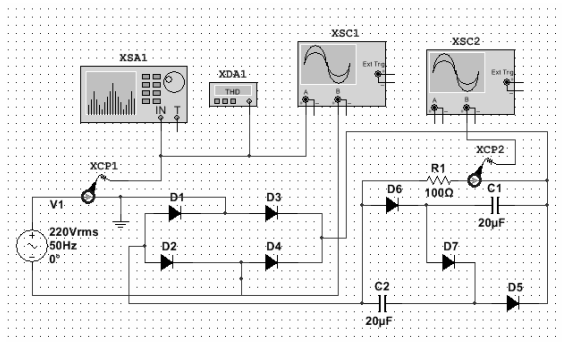


Рис. 9. Схема 2

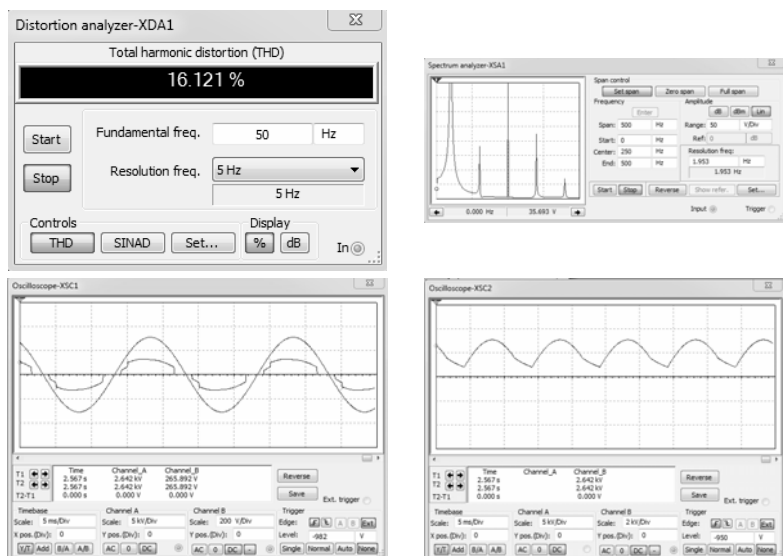


Рис. 10. Спектр и форма кривой тока для схемы 2

Программа Multisim позволяет моделировать и обрабатывать данные по нагрузке различной степени сложности. Для большинства типов нагрузок приемников существуют определенные схемы блоков питания. Каждой схеме соответствует свой коэффициент гармонических искажений, связанный с потребляемым током, согласно [2] они имеют ограничения по гармоническим составляющим тока в зависи-

мости от класса. Поэтому выбор схемы является компромиссом между уровнем искажения несинусоидальности тока и ее стоимостью.

### Список литературы

1. Янченко, С. А. Анализ гармонической эмиссии распространенных видов современных бытовых нелинейных электроприемников // Промышленная энергетика. – 2014. – № 8. – С. 46–55.

2. ГОСТ Р 51317.3.2–2006. Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2007.

3. Хернтер, М. Е. Электронное моделирование в Multisim. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 492 с.

### Simulation common types of power supply circuit of non-linear power consumers

**Abstract.** *The article discusses the current waveform for the most common non-linear circuits for power consumers. Simulation and calculation of harmonic distortion of the current produced in the circuit simulation environment Multisim. Analysis of circuits will reveal the characteristics of each circuit, and possible ways to reduce the current distortion.*

**Keywords:** non-linear power consumers, the current harmonic distortion, Multisim.

*Р. И. Гумеров, канд. физ.-мат. наук, доц.*

*Е. А. Харитонов, магистрант*

*E-mail: Vilhem@mail.ru*

Казанский (Приволжский) федеральный университет

## **Вейвлет-преобразование сигнала на микроконтроллере ХК-1А компании XMOS**

*В данной статье представлена краткая информация о вейвлет-преобразовании, рассмотрен алгоритм вейвлет-преобразования  $\hat{A}$  TROUS". Также в статье указаны результаты реализации метода  $\hat{A}$  TROUS" на плате ХК-1А фирмы xMOS.*

**Ключевые слова:** xMOS, ХК-1А, A TROUS, вейвлет-преобразование, программирование, цифровая фильтрация.

Задача цифровой фильтрации встречается во многих областях науки и техники, в частности, связанных с решением задач обнаружения и оценки параметров сигналов. [1] Фильтрация сигналов производится с помощью огромного разнообразия методов и устройств, которые зачастую бывают дорогостоящими и сложными в устройстве и работе с ними. В поиске более простых и дешевых решений было остановлено внимание на модуле ХК-1А фирмы XMOS. Определяющую роль при выборе сыграла небольшая стоимость платы при высоком быстродействии, достигаемом за счет возможности параллельного выполнения операций на данном модуле. Данный модуль отличается своей доступностью, большим количеством справочной информации и поддержкой пользователей через сайт фирмы.

Один из методов фильтрации сигнала – метод Ван-Циттерта, для применения которого необходимо произведение вейвлет-преобразования сигнала.

Вейвлет (от англ. *wavelet*), всплеск (гораздо реже – вэйвлет) – это математическая функция, позволяющая анализировать различные частотные компоненты данных. График функции выглядит как волнообразные колебания с амплитудой, уменьшающейся до нуля вдали от начала координат. Однако это частное определение – в общем случае анализ сигналов производится в плоскости вейвлет-коэффициентов (масштаб – время – уровень, Scale-Time-Amplitude). Вейвлет-коэффи-

циенты определяются интегральным преобразованием сигнала. Полученные вейвлет-спектрограммы принципиально отличаются от обычных спектров Фурье тем, что дают четкую привязку спектра различных особенностей сигналов ко времени. [2]

В настоящее время разработано достаточно много вейвлет-преобразований. Использование того или иного вейвлет-преобразования обуславливается конкретной задачей. В данной работе был выбран алгоритм *À TROUS*", в силу своей простоты программируемости, невысокой требовательности к памяти и полностью выполняемой инвариантностью к сдвигу.

В вейвлет-преобразовании происходит серия трансформаций сигнала, которая приводит к набору «представлений», связанных с расширением сигнала.

Мы рассматриваем данные  $\{c_0(k)\}$  ( $k$  – номер отсчета значения сигнала) как скалярное произведение функции  $f(x)$  с масштабной функцией  $\phi(x)$ , которая соответствует низкочастотному фильтру:

$$c_0(k) = \langle f(x), \phi(x - k) \rangle. \quad (1)$$

Масштабирующая функция выбрана таким образом, чтобы удовлетворить следующее уравнение:

$$\frac{1}{2} \phi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum_l h(l) \phi(x - l), \quad (2)$$

где  $h$  – дискретный низкочастотный фильтр, связанный с масштабной функцией  $\phi$ . Это означает, что низкочастотная фильтрация сигнала, по определению, тесно связана с другим уровнем разрешения сигнала. Расстояние между уровнями увеличивается с помощью множителя 2 от одной величины уровня разрешения к следующему [3].

Размытие данных  $c_j(k)$  в данном разрешении  $j$  и в положении  $k$  – это скалярное произведение:

$$c_j(k) = \frac{1}{2^j} \left\langle f(x), \phi\left(\frac{x - k}{2^j}\right) \right\rangle. \quad (3)$$

Вследствие получаем свертку:

$$c_j(k) = \sum_l h(l) c_{j-1}(k + 2^{j-1}l). \quad (4)$$

Разность  $w_j$  между двумя последовательными разрешениями:

$$w_j = c_{j-1}(k) - c_j(k) \quad (5)$$

или

$$w_j = \frac{1}{2^j} \left\langle f(x), \psi \left( \frac{x-k}{2^j} \right) \right\rangle. \quad (6)$$

Здесь вейвлет-функция  $\psi$  определена как:

$$\frac{1}{2} \psi \left( \frac{x}{2} \right) = \phi(x) - \frac{1}{2} \phi \left( \frac{x}{2} \right). \quad (7)$$

Уравнение (6) является дискретным вейвлет-преобразованием для уровня разрешения  $j$ . Таким образом, мы получили алгоритм, для вычисления связанных вейвлет-преобразований:

- 1) Пусть  $j = 0$ , начинаем с данных  $c_j(k)$ .
- 2) Увеличивая  $j$ , выполняем дискретную свертку данных  $c_{j-1}(k)$ , используя фильтр  $h$ .
- 3) Так получаем дискретное вейвлет-преобразование с разностью  $c_{j-1}(k) - c_j(k)$ .
- 4) Если  $j$  меньше, чем  $p$  (номер разрешения, который мы хотим вычислить), то возвращаемся к пункту 2.
- 5) Набор  $W = \{w_1, \dots, w_p, c_p\}$  представляет вейвлет-преобразование данных.

Самый общий способ учета границ  $c(k + N) = c(N - k)$ . Также могут использоваться и другие методы, такие как периодичность  $c(k + N) = c(k)$ , или непрерывность  $c(k + N) = c(N)$ . Выбор одного из этих методов не имеет большого влияния на нашу общую стратегию восстановления исходного сигнала.

С помощью данного вейвлет-преобразования исходный сигнал может быть разбит на так называемые вейвлет-плоскости, что и было реализовано на плате ХК-1А.

Оценить результат выполнения преобразования можно исходя из графиков сигнала и его вейвлет-плоскостей, представленных ниже.

Исходный сигнал (рис. 1) представлен в виде набора отсчетов сигнала во времени, который содержался в текстовом файле и был считан платой.

Впоследствии данный сигнал был разбит на вейвлет-плоскости, в частности, на 7 плоскостей, результат данного разбиения представлен на рис. 2–6.

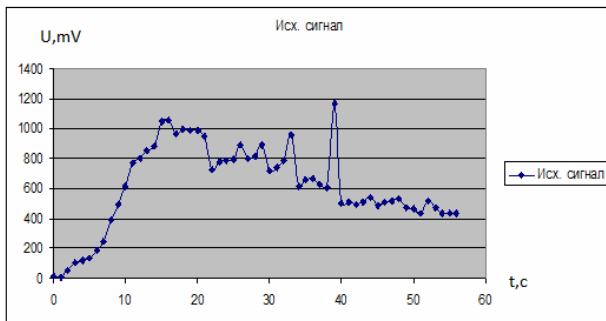


Рис. 1. Исходный сигнал, считанный из файла

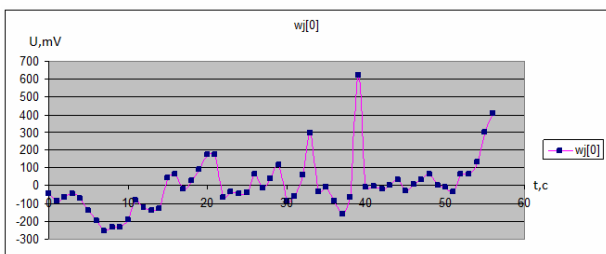


Рис. 2. Первая вейвлет-плоскость

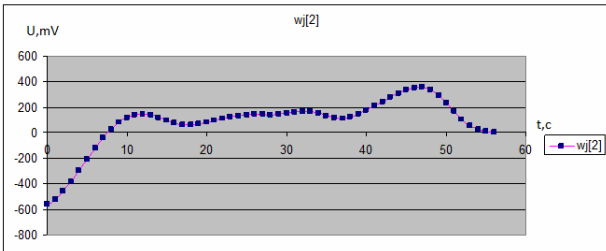
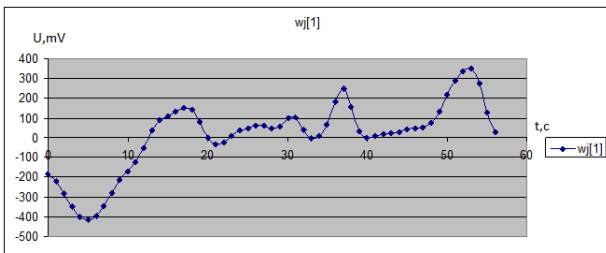


Рис. 3. Вторая и третья вейвлет-плоскости

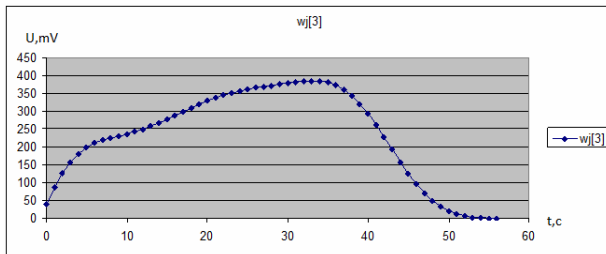


Рис. 4. Четвертая вейвлет-плоскость

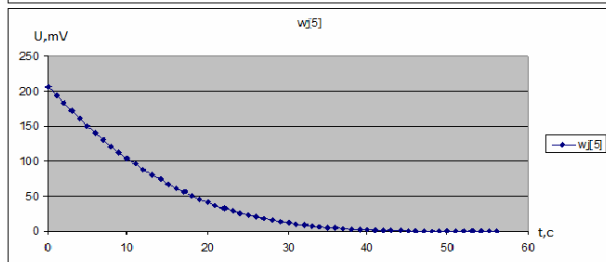
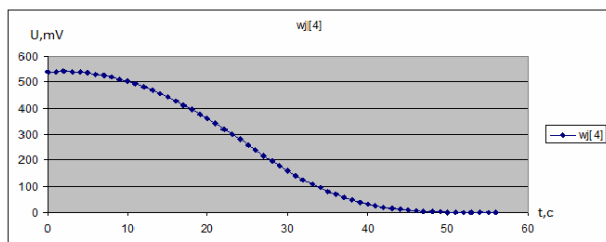


Рис. 5. Пятая и шеста вейвлет-плоскости

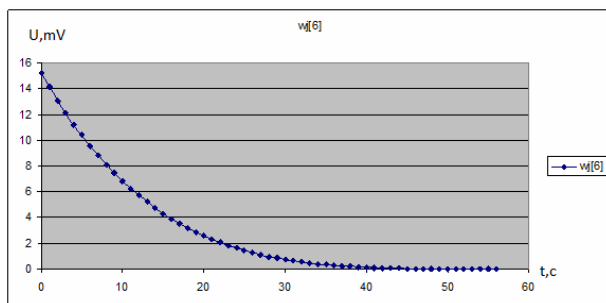


Рис. 6. Седьмая вейвлет-плоскость

Данные вейвлет-плоскости были получены в результате работы запрограммированной платы XK-1A, что позволяет сделать вывод, что в дальнейшем как данная плата, так и результаты данной работы, которые включают в себя код программы, могут быть использованы в дальнейшем для очищения сигнала от шумовой составляющей, в частности, с помощью метода восстановления Ван-Циттерта.

### Список литературы

1. Лэм, Г. Ф. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация. – М. : Мир, 1982. – 5 с.
2. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск : РХД, 2001. – 464 с.
3. Image restoration with noise suppression using a multiresolution / *Murtagh F., Starck J., Starck L., et al.* Astronomy and Astrophysics Supplement, 1994, vol. 228, pp. 342–348.

### Signal wavelet-transformation on XK-1A microcontroller by xMOS

**Abstract.** *In this article provided summary information about wavelet-transformation. Here The "À TROUS" algorithm of wavelet-transform is considered. Also in this article are presented results of the "À TROUS" method's realization on the XK-1A board of the xMOS firm.*

**Keywords:** xMOS, XK-1A, À TROUS, wavelet-transform, programming, digital filtration.



*Р. Н. Красноперов*, магистрант

E-mail: [romakras963@yandex.ru](mailto:romakras963@yandex.ru)

*В. А. Стародубцева*, канд. техн. наук, проф.

E-mail: [starodubceva\\_v\\_a@istu.ru](mailto:starodubceva_v_a@istu.ru)

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Анализ рабочих характеристик стандартного и обращенного асинхронного двигателя**

*В данной статье выполнен сравнительный анализ рабочих характеристик обращенного и стандартного асинхронных двигателей. Приведены результаты расчета асинхронных двигателей с одинаковыми параметрами, но отличающимися исполнением (стандартный и обращенный).*

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, катушка, ротор, статор, рабочие характеристики, коэффициент полезного действия.

Наиболее предпочтительными для промышленных электроприводов, по сравнению с другими типами двигателей, являются асинхронные двигатели [1]. Причин тому несколько: они имеют самую высокую надежность, благодаря отсутствию коллектора, а также возможность подключения напрямую к сети переменного тока, без промежуточных преобразований, а соответственно, и дополнительных потерь электроэнергии. С развитием полупроводниковой техники и появлением современной элементной базы появилась возможность создания недорогих и компактных частотно-регулируемых электроприводов. Что расширяет возможности их использования.

Кроме стандартных асинхронных двигателей в промышленности используются также специальные асинхронные машины. Одним из них является обращенный асинхронный двигатель.

Рассматриваются асинхронные двигатели двух конструкций. Первый из них – это стандартный асинхронный двигатель (рис. 1), довольно распространенный в известных литературных источниках. Второй – обращенный, представляет собой специальный. Этот тип двигателя очень мало исследован, на данный момент не существует значимых научных работ об обращенном асинхронном двигателе, а также методических указаний по его расчету. Его разрабатывают и применяют, в основном, в конкретных частных случаях.

Конструкция обращенного электродвигателя подобна конструкции асинхронного электродвигателя, но с небольшим отличием: ротор электродвигателя расположен снаружи статорной обмотки, а статор с обмотками расположен в центре электродвигателя. Такие конструкции также называют асинхронным двигателем с внешним ротором (рис. 2).

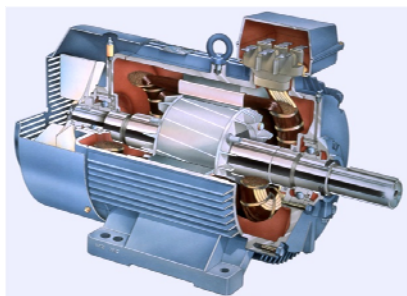


Рис. 1. Общий вид асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

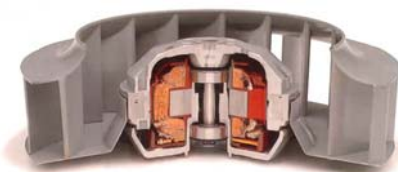


Рис. 2. Общий вид трехфазного обращенного асинхронного двигателя

Для проведения анализа рассчитаем рабочие характеристики стандартного и обращенного асинхронных двигателей одинаковой мощности (табл. 1).

Таблица 1. Исходные данные

| Диапазон напряжения<br>$U$ , В | Мощность подводимая<br>к ЭП, кВт | Мощность на валу,<br>кВт, не менее | Момент на валу,<br>Н·м | Частота вращения вала,<br>об/мин, не менее |
|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|--|
| 87–122                         | 80                               | 56                                 | 1500                   | 350  |

Разность между подводимой и полезной мощностью обусловлена потерями в электродвигателе.

Основные потери в стали статора:

$$P_{\text{ст.осн}} = p_{1,0/50} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^\beta \cdot \left(k_{\text{да}} \cdot B_a^2 \cdot m_{a1} + k_{\text{дх}} \cdot B_{z1}^2 \cdot m_{z1}\right), \quad (1)$$

где  $\beta$  – показатель степени, учитывающий зависимость потерь в стали от частоты перемагничивания; для большинства электротехнических сталей  $\beta = 1,3 \dots 1,5$ ;  $p_{1,0/50}$  – удельные потери при индукции 1 Тл и частоте перемагничивания 50 Гц, в зависимости от марки стали:  $p_{1,0/50} =$

= 2,5 Вт/кг для стали 2013;  $k_{да} = 1,6$  и  $k_{дх} = 1,8$  – коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода.

Основные потери в стали статора стандартного асинхронного двигателя:

$$P_{ст.осн} = 2,5 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{1,5} (1,6 \cdot 0,6^2 \cdot 186 + 1,8 \cdot 1,8^2 \cdot 45,3) = 974 \text{ Вт.}$$

Основные потери в стали статора обращенного асинхронного двигателя:

$$P_{ст.осн} = 2,5 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{1,5} (1,6 \cdot 0,6^2 \cdot 176 + 1,8 \cdot 1,8^2 \cdot 34,7) = 838 \text{ Вт.}$$

По результатам расчета потерь на намагничивание в статоре двигателей можно наблюдать прямую зависимость потерь мощности от изменяющейся массы ярма и зубцов статора:

$$P_{ст.осн} \sim m_{a1}; \quad P_{ст.осн} \sim m_{z1}. \quad (2)$$

Данные расчета рабочих характеристик асинхронных двигателей представлены в табл. 2 и 3.

**Таблица 2. Параметры рабочих характеристик для стандартного асинхронного двигателя**

|             |        |        |        |        |        |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $P_2$ , кВт | 26,22  | 48,66  | 63,06  | 72,23  | 76,45  |
| $P_1$ , кВт | 29,31  | 54,88  | 73,17  | 86,87  | 95,26  |
| cos φ       | 0,99   | 0,96   | 0,93   | 0,88   | 0,83   |
| $I_1$ , А   | 121,54 | 193,34 | 256,88 | 315,35 | 361,22 |
| $S$         | 0,013  | 0,027  | 0,040  | 0,054  | 0,067  |
| η           | 0,89   | 0,89   | 0,86   | 0,83   | 0,8    |

**Таблица 3. Параметры рабочих характеристик для обращенного асинхронного двигателя**

|             |       |       |        |       |       |
|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| $P_2$ , кВт | 26,22 | 48,66 | 63,06  | 72,23 | 76,45 |
| $P_1$ , кВт | 31,5  | 57,7  | 79,4   | 88,37 | 96,6  |
| cos φ       | 0,99  | 0,96  | 0,93   | 0,88  | 0,83  |
| $I_1$ , А   | 125,9 | 194,3 | 262,15 | 350,6 | 384,9 |
| $S$         | 0,011 | 0,025 | 0,040  | 0,050 | 0,065 |
| η           | 0,89  | 0,90  | 0,92   | 0,90  | 0,83  |

По данным табл. 2 построены рабочие характеристики стандартного асинхронного двигателя (рис. 3). По данным табл. 3 построены рабочие характеристики обращенного асинхронного двигателя (рис. 4).

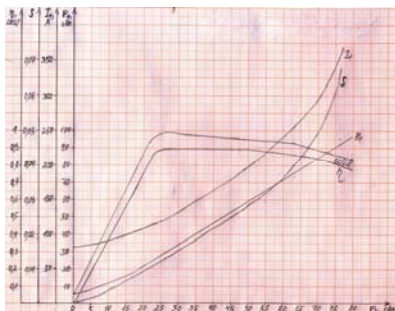


Рис. 4. Рабочие характеристики стандартного асинхронного двигателя с заданными параметрами

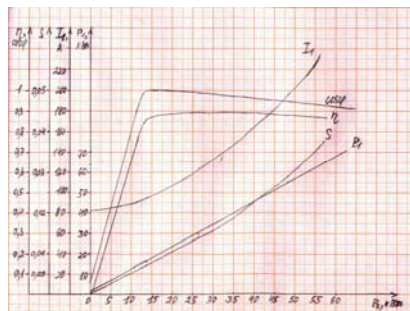


Рис. 5. Рабочие характеристики обращенного асинхронного двигателя с заданными параметрами

Из сравнения рабочих характеристик сделаны выводы:

1. Ток холостого хода обращенного двигателя больше.
2. КПД обращенного двигателя достигает максимума при меньшей полезной мощности  $P_2 = 15$  кВт, т. е. быстрее возрастает и остается практически постоянным в течение всего времени работы.
3.  $\cos \varphi_0$  не зависит от типа двигателя.

### Выводы

Проведенные исследования показали, что потери у обращенного асинхронного двигателя меньше, чем у стандартного. Это связано с тем, что размеры магнитопровода статора обращенного двигателя меньше.

Что касается тока холостого хода, он у обращенного двигателя больше. Объясняется это тем, что ротор такого двигателя больше, если сравнивать с ротором стандартного, соответственно, требуется больше энергии, чтобы раскрутить его.

### Список литературы

1. Стародубцева, В. А. Расчет и проектирование электрических машин. Асинхронные машины : учеб. пособие для вузов. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2005. – 352 с.
2. Вольдек, А. И. Электрические машины: машины переменного тока / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – СПб. : Питер, 2010. – 300 с.

3. *Красноперов, Р. Н.* Анализ связи между конструкцией обмотки и площадью паза обратимого асинхронного двигателя / Р. Н. Красноперов, В. А. Стародубцева // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : сб. мат. III Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (22–23 апреля 2015 г.). – Ижевск, 2015. – С. 52–57.

4. *Радин, В. И.* Электрические машины: Асинхронные машины : учеб. пособие для вузов / В. И. Радин, Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович ; под ред. И. П. Копылова. – М. : Высш. шк., 1988. – 328 с.

5. *Алиев, И. И.* Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. – М. : ИП Радиософт, 2008. – 128 с.

6. *Селетков, С. Г.* Объект, субъект предмет научно-квалификационной работы / С. Г. Селетков, С. С. Иванова // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 1. – С. 175–178.

### **Analysis of the differences between the performance of a reversible and simple induction motor**

**Abstract.** *This article analyzed the differences between the performance characteristics of the inverse of the normal induction motor. At-practical calculation shows the results of asynchronous motors with the same parameters, but different execution (normal and inverted).*

**Keywords:** induction motor, a coil, a rotor, a stator, performance, efficiency.

*А. В. Морозов*, ст. преподаватель

*А. А. Чукавин*, магистрант

E-mail: manstickrussia@yandex.ru

*В. А. Морозов*, канд. техн. наук, доц.

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Разработка частотного преобразователя основного привода лифтовой установки**

*В данной статье представлена разработка частотного преобразователя основного привода лифтовой установки. Произведен анализ применяемых электроприводов в лифтовых установках, рассмотрены два вида частотных преобразователей в зависимости от типа управления электродвигателем: с векторным и скалярным управлением. Произведен расчет и выбор силовых ключей инвертора.*

**Ключевые слова:** частотный преобразователь, электропривод лифтовых установок, скалярное управление, схмотехнические решения по разработке частотного преобразователя, макет преобразователя.

### **Введение**

На протяжении последних 10–15 лет в мире наблюдается широкое и успешное внедрение частотно регулируемого электропривода для решения различных технологических задач во многие отрасли экономики. Это объясняется в первую очередь разработкой и созданием преобразователей частоты на принципиально новой элементной базе, главным образом на биполярных транзисторах с изолированным затвором IGBT.

Преобразователи частоты представляют из себя электронные устройства для плавного бесступенчатого регулирования скорости вращения вала асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Плавная регулировка скорости вращения в большинстве случаев позволяет отказаться от использования редукторов, вариаторов, дросселей и другой регулирующей аппаратуры. Это значительно упрощает механическую систему, повышает ее надежность и снижает эксплуатационные расходы.

Лифтовые установки являются типичным примером механизмов, предъявляющих высокие требования к динамическим характеристикам

электропривода, работающего в напряженных пускотормозных режимах. Использование частотного регулирования на лифтах позволяет получить идеальный S-образный режим разгона и торможения лифта, все механические конструкции не испытывают излишних электродинамических нагрузок, двигатели разгоняются и тормозятся при меньших токах, чем в других видах электропривода.

## **1. Анализ применяемых электроприводов в лифтовых установках**

В настоящее время для подъема и опускания лифтов используются различные схемы электроприводов, которые имеют свои преимущества и недостатки. Наиболее распространенным является электропривод переменного тока: *асинхронный электропривод с односкоростным и двухскоростным двигателем, тиристорный асинхронный электропривод*. С развитием полупроводниковых приборов применение находит и привод постоянного тока по схеме *тиристорный преобразователь – двигатель*, позволяющей наиболее полно использовать высокие регулировочные свойства тиристоров [1].

Самым прогрессивным средством управления перемещением лифта является *частотный электропривод* с применением односкоростных трехфазных электродвигателей переменного тока или синхронных двигателей с постоянными магнитами.

Использование *частотно регулируемых приводов* в лифте позволяет значительно повысить показатели комфортности работы лифта из-за эффективного ограничения ускорений и рывков. При этом пассажиры практически не ощущают движения. В свою очередь, обеспечиваемые *частотно-регулируемым приводом* плавные переходные процессы приводят к значительному снижению динамических нагрузок в элементах кинематической цепи привода, что позволяет повысить надежность и долговечность работы механического оборудования лифта.

Причиной, определившей широкое применение частотно регулируемого привода в лифтах, является снижение энергопотребления на 40–60 %, которое достигается в основном значительным снижением момента инерции лебедки главного привода за счет удаления маховика с ведущего вала.

Применение частотно регулируемого привода дает возможность получить график движения, близкий к оптимальному, обеспечивает достаточное высокое качество переходных процессов при хороших комфортных показателях [2].

## 2. Схемотехнические решения по разработке частотного преобразователя

По способу управления электродвигателем частотные преобразователи можно разделить на две группы: с *векторным* и *скалярным* управлением.

*Скалярные* системы частотного регулирования являются наиболее распространенным в асинхронном электроприводе. Принцип скалярного управления *частотно-регулируемого асинхронного электропривода* базируется на изменении частоты и амплитуды питающего напряжения, по закону частотного регулирования  $U/F = \text{const}$ . Управляемость двигателя при этом обеспечивается совместным регулированием частоты и напряжения.

*Скалярное* управление асинхронным двигателем имеет два значительных недостатка. Если на валу не установлен датчик скорости, то невозможно осуществлять регулирование значения скорости вращения вала, поскольку она зависит от воздействующей на электропривод нагрузки. Еще одним значительным недостатком является отсутствие возможности регулирования значения момента на валу двигателя.

Главная идея *векторного* управления заключается в том, чтобы контролировать не только величину и частоту напряжения питания, но и фазу. *Векторное* управление позволяет практически безынерционно регулировать скорость вращения и момент на валу электродвигателя. Информация о текущих значениях и пространственном положении векторов переменных может быть получена как прямым их измерением, с помощью соответствующих датчиков, так и косвенно, на основе математической модели двигателя.

К преимуществам *векторного* управления можно отнести: высокую точность регулирования, плавный старт и плавное регулирование скорости вращения во всем диапазоне частот, быстрая реакция на изменение нагрузки, снижение потерь на нагрев и намагничивание.

Несмотря на очевидные преимущества, метод *векторного* управления имеет и определенные недостатки – большая сложность вычислений требуемых параметров. Поскольку для работы необходимо знать параметры схемы замещения электродвигателя, а также колебания скорости при постоянной нагрузке значительно больше, чем при скалярном методе управления [3].

При относительной дешевизне и простоте реализации *скалярное* управление достаточно для большинства задач, в которых применяется электропривод с диапазоном регулирования частоты вращения двигателя до 10:1.



На рис. 1 представлена структурная схема преобразователя частоты со скалярным управлением. В инверторе 3 осуществляется преобразование постоянного напряжения в трехфазное изменяемой амплитуды и частоты. По сигналам системы управления 4 каждая обмотка электрического двигателя подсоединяется через соответствующие силовые транзисторы инвертора к положительному и отрицательному полюсам звена постоянного тока, состоящего из неуправляемого выпрямителя 1 и сглаживающего фильтра 2. Длительность подключения каждой обмотки в пределах периода следования импульсов модулируется по синусоидальному закону [4].

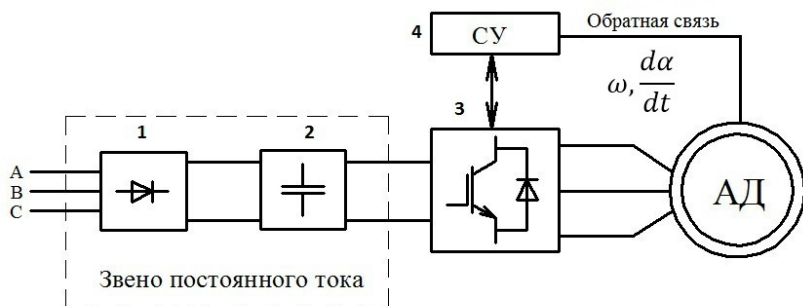


Рис. 1. Структурная схема преобразователя частоты со скалярным управлением

### 3. Расчёт силовых транзисторов инвертора, для преобразователя частоты мощностью до 11 кВт

Силовые транзисторы инвертора работают с постоянным напряжением, полученным в результате выпрямления трехфазным выпрямительным мостом, тогда амплитуда выпрямленного напряжения на общей шине:

$$U_{B \max} = \sqrt{6} \cdot U_c = \sqrt{6} \cdot 220 = 539 \text{ В,}$$

где  $U_c$  – напряжение на входе выпрямителя.

Максимальное значение токов транзисторов равно максимальному значению тока нагрузки:

$$I_H = \frac{P_d}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,8} = 19,8 \text{ А,}$$

где  $P_d$  – мощность двигателя (11 кВт).

Примем коэффициент запаса  $K_s = 2$ , тогда:

$$U_{CE \max} \geq 2 \cdot 539 \geq 1078 \text{ В,}$$

$$I_{C \max} \geq 2 \cdot 19,8 \geq 39,6 \text{ А,}$$

где  $U_{CE}$  – напряжение коллектор-эмиттер;  $I_C$  – ток коллектора.

Выберем IGBT-транзисторы фирмы FAIRCHILD SEMICONDUCTOR модель: FGA25N120ANTD, для которых  $U_{CE} = 1200 \text{ В}$ ,  $I_C = 50 \text{ А}$  (при температуре  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и  $I_C = 25 \text{ А}$  (при температуре  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

#### 4. Макет преобразователя частоты

Макет преобразователя частоты предназначен для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя мощностью до 11 кВт. Питание макета трехфазное от сети 0,4 кВ. Фазное напряжение на зажимах двигателя изменяется от нуля до 220 В, частота: 0...103 Гц.

Преобразователь частоты спроектирован по двухзвенной схеме с неуправляемым выпрямителем и трехфазным мостовым инвертором. Между шинами постоянного тока установлен LC-фильтр для сглаживания пульсаций напряжения и уменьшения влияния инвертора на сеть.

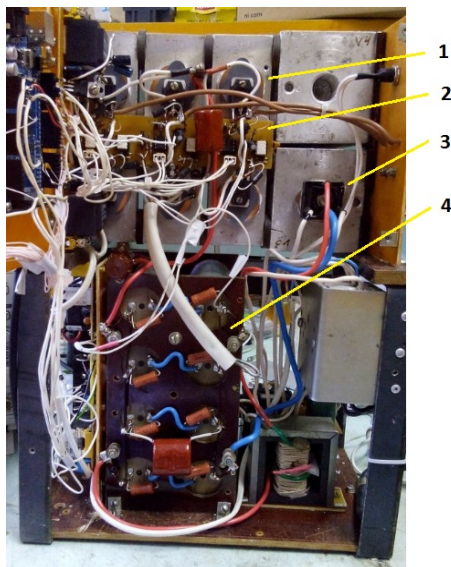


Рис. 2. Силовая часть преобразователя: 1 – силовые ключи инвертора напряжения; 2 – плата драйверов управления силовыми ключами; 3 – неуправляемый трехфазный выпрямитель; 4 – конденсаторная батарея LC-фильтра выпрямителя

Схема управления IGBT (схема драйверов) построена на сверхбыстрых оптопарах. На затворах формируется двухполярное напряжение управления. Для открывания транзистора драйвер формирует положительное отпирающее напряжение +15 В, для закрывания – отрицательное запирающее –10 В. Питание драйверов осуществляется от четырех гальванически не связанных источников напряжения 25 В.

Система управления транзисторами инвертора реализована на микроконтроллере Atmega 2560. Программа управления формирует ШИМ-напряжения на соответствующих выводах. Синусоидальная ШИМ формируется тремя аппаратными таймерами.

### **Заключение**

Применение частотно регулируемого электропривода позволяет получить высокие технико-экономические показатели, КПД, уменьшить число элементов схемы и, следовательно, вероятность отказов, уменьшить массогабаритные показатели по сравнению с другими типами электроприводов, применяемых в лифтовых установках.

Из сравнения частотных преобразователей с векторным и скалярным управлением можно сделать вывод, что скалярные системы достаточно просто реализуются и имеют меньшую стоимость, кроме того, не требуется знание параметров применяемого электродвигателя, а сложность вычислений меньше чем при векторном управлении, что позволяет использовать более простой и относительно дешевый микроконтроллер.

На кафедре «Электротехника» на основании договора № Э-1-14/М с ОАО «Элеконд» закончен второй этап НИР «Разработка частотного преобразователя для основного привода лифта». Спроектирован частотный преобразователь по двухзвенной схеме с неуправляемым выпрямителем и трехфазным мостовым инвертором, предназначенный для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя мощностью до 11 кВт. Диапазон выходной частоты: 0...103 Гц. Изготовлен опытный образец, успешно проведены предварительные испытания.

### **Список литературы**

1. *Чутчиков, П. И.* Ремонт лифтов : учеб. пособие. – М. : Стройиздат, 1983. – 271 с.
2. Частотный электропривод переменного тока лифта [Электронный ресурс] / ООО «Элпрон» [Сайт]. – URL: <http://www.elpron.ru/index.php/articles/51-industrial-automation/343-privodperemennogotoka2013> (дата обращения: 28.05.2015).
3. *Соколовский, Г. Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М. : Академия, 2006. – 259 с.

4. Дейкин, О. Прикладная электроника: электронный курс [Электронный ресурс] / О. Дейкин, А. Гринько // HITSA Innovatsioonikeskus [Сайт]. – Год публикации: 2012. – URL: [http://www.e-ope.ee/\\_download/euni\\_repository/file/3362/Rakenduselektroonika.zip/index.html](http://www.e-ope.ee/_download/euni_repository/file/3362/Rakenduselektroonika.zip/index.html) (дата обращения: 30.05.2015).

## **Development of a frequency converter of the main drive of the elevator installation**

**Abstract.** *This article presents the development of a frequency Converter of the main drive of the Elevator installation. The analysis used in electric drives of lift installations, are considered two types of frequency converters depending on the type of motor control: vector and scalar control. The calculation and selection of power switches of the inverter.*

**Keywords:** frequency converter, the electric drive of Elevator installations, scalar control, circuit design of the inverter, the layout Converter.

*В. А. Морозов*, канд. техн. наук, доц.

E-mail: morozov\_v\_a@istu.ru

*Н. В. Туктарев*, студент

*А. С. Данилов*, студент

E-mail: ia904@yandex.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Разработка тензометрической системы регистрации механических параметров**

*В работе представлена разработка тензометрической системы регистрации механических деформаций детали в соответствии с техническим заданием. Произведен расчет применяемых приборов, построены графики функций зависимости выходных характеристик от входных, сделан анализ полученных результатов. Визуализация параметров тензометрической системы в режиме реального времени была произведена с помощью АЦП и программы LabVIEW.*

**Ключевые слова:** мостовая схема, тензорезистивный датчик, тензометрическая система, АЦП, механические напряжения.

### **Введение**

В работе была разработана схема и методика проведения эксперимента.

Для определения механической деформации изделия, а именно растяжения и сжатия, использовались чувствительные элементы тензорезисторы.

Измерение деформации изделия производилась с применением мостовой схемы, в которую включался тензометрический датчик. С выхода мостовой схемы снималось напряжение, пропорциональное измеряемой деформации, которое усиливалось и подавалось на вход АЦП, с последующей записью и обработкой в программе графического программирования LabVIEW.

### **Основная часть**

Для проведения эксперимента собиралась схема (рис. 1), в которой  $P$  – сила, действующая на исследуемый объект, в результате появляется упругая деформация  $\epsilon$ , которая влечет за собой изменение сопро-

тивления тензорезисторов на величину  $\Delta R$  с последующим преобразованием в выходное напряжение  $\Delta U$ , которое усиливается и подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с записью измеряемых величин в цифровом виде на ПК.

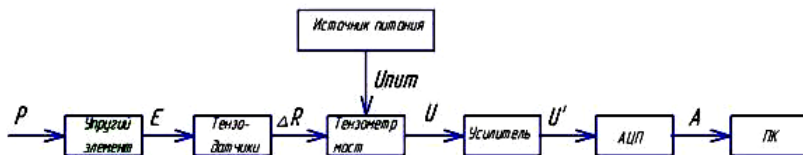


Рис. 1. Блок-схема измерительной системы

Схема включает исследуемый объект, на который приклеиваются тензорезисторы. На выходе тензодатчика сигнал, несущий информацию о механическом напряжении, порядка нескольких милливольт. Его необходимо усилить до требуемого уровня, для отстройки от помех (шум работающего канала АЦП, паяные соединения, нагрев), которые при малом выходном напряжении накладываются друг на друга и вносят значительную погрешность в измерения. Для нормальной работы измерительной мостовой схемы необходимо ввести, регулировочные элементы: для подстройки чувствительности и производства смещения нуля. С этой целью используется тензометрический усилитель УТ1-1 (рис. 2) и АЦП USB-6009 (рис. 3).



Рис. 2. Внешний вид передней панели тензоусилителя УТ1-1

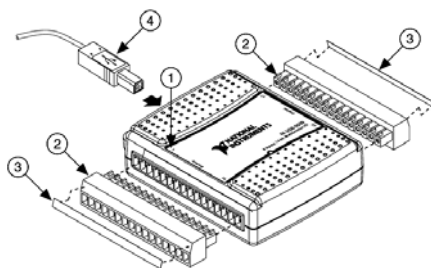


Рис. 3. Внешний вид USB-6009

Для корректного проведения эксперимента необходимо отстроить и согласовать тензоусилитель с аналого-цифровым преобразователем. Для этого была спроектирована блок-схема (рис. 4).

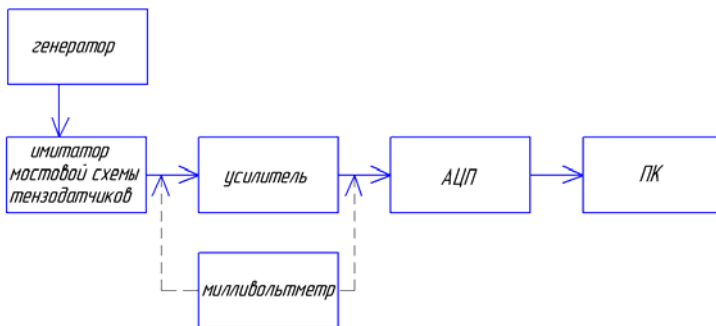


Рис. 4. Блок-схема исследуемого сквозного канала «датчик – усилитель – АЦП – ПК»

Выходное напряжение с усилителя поступает на АЦП, с АЦП поступает на персональный компьютер (ПК), производится визуализация сигнала с помощью программы LabVIEW на мониторе. Полученные данные формируются в виде табл. 1, и строится график функций  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$  (рис. 5). Затем рассчитывается коэффициент усиления  $K_y$  и проверяется линейность зависимости  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ .

В ходе выполнения работы определена амплитудно-частотная характеристика усилителя (рис. 6).

Блок-схема рабочей программы в LabVIEW (рис. 7), показания графического и численного индикаторов (рис. 8). Полученные в эксперименте данные записываются в Excel, с помощью программы WriteToMeasurementFile. По полученным значениям построилась диаграмма изменения напряжения (рис. 9).

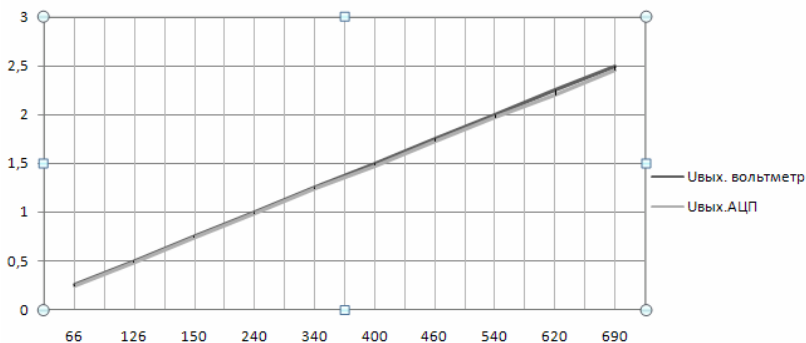


Рис. 5. Диаграмма выходных напряжений при  $K_y = 4, f = 20$  Гц

Таблица 1. Значения входных и выходных напряжений усилителя

|                   |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $U_{вх}, мВ$      | 66    | 126  | 191  | 256  | 340  | 400  | 460  | 540  | 620  | 690  |
| $U_{вых}, В$      | 0,25  | 0,5  | 0,75 | 1,0  | 1,25 | 1,5  | 1,75 | 2,0  | 2,25 | 2,5  |
| $K_y$ (вольтметр) | 3,8   | 3,97 | 3,93 | 3,9  | 3,68 | 3,75 | 3,8  | 3,7  | 3,63 | 3,62 |
| $U_{вых}, В$      | 0,247 | 0,49 | 0,74 | 0,99 | 1,24 | 1,48 | 1,73 | 1,97 | 2,2  | 2,46 |
| $K_y$ (АЦП)       | 3,74  | 3,89 | 3,87 | 3,87 | 3,65 | 3,7  | 3,76 | 3,65 | 3,55 | 3,57 |

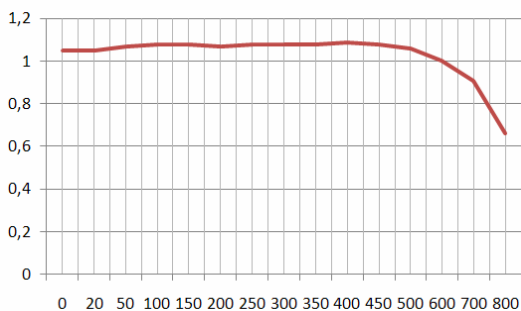


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика

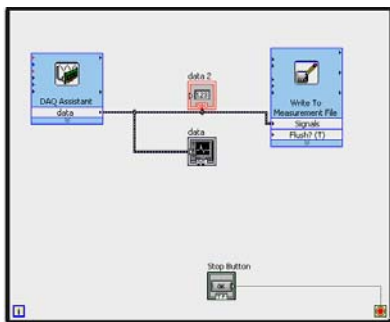


Рис. 7. Блок-схема рабочей программы

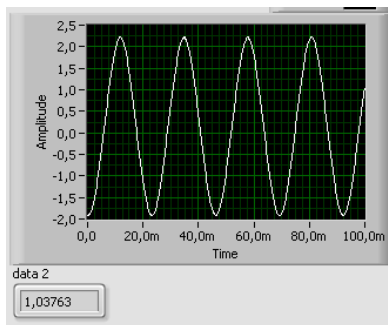


Рис. 8. Показания графического и численного индикатора

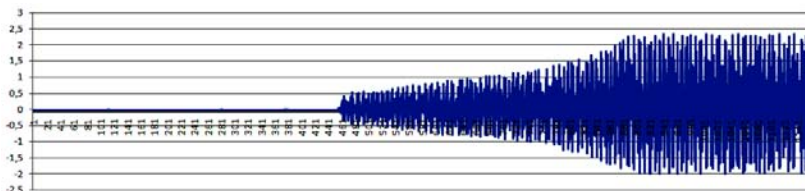


Рис. 9. Диаграмма изменения напряжения в ходе проведения эксперимента



## Выводы

Разработаны тензометрическая система измерения механических параметров, программа и методика проведения испытания, проверена правильность работы системы, проведен анализ полученных результатов.

Результаты испытания показали, что разработанная система соответствует требованиям технического задания.

## Список литературы

1. Шушкевич, В. А. Основы электротензометрии. – Минск : Вышейш. шк., 1975. – 352 с.
2. Левшина, Е. С. Измерительные преобразователи / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 315 с.
3. Немец, И. Практическое применение тензореосторов. – М. : Энергия, 1970. – 263 с.
4. ГОСТ 8.513–84 Проверка средств измерений, организация и порядок проведения. – М. : Изд-во стандартов, 1988.

## The development of strain-gauge system of registration of mechanical parameters

**Abstract.** *The paper presents the development of the strain gauge system of registration of mechanical parameters of parts in accordance with the specifications. The calculation of used devices is produced, graphs of dependencies between the input and output characteristics are plotted, analysis of the results is made. Visualization of parameters of strain gauge system in real time was done by the ADC and the LabVIEW program.*

**Keywords:** bridge circuit; tensoresistive sensor; strain gauge system; ADC; mechanical stresses.

УДК 681.527.7

Ю. Р. Никитин, канд. техн. наук, доц.

И. В. Абрамов, д-р техн. наук, проф.

Ю. В. Турыгин, д-р техн. наук, проф.

Е-mail: ms@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Диагностика технического состояния электрических двигателей деревобрабатывающего оборудования**

*Рассмотрены методы и принципы проектирования систем диагностирования. Выполнена оптимизация процесса диагностирования. Выбраны критерии эффективности систем диагностирования. Выполнена интеграция систем диагностирования и систем управления.*

**Ключевые слова:** диагностика, эффективность, управление, интеграция, оптимизация.

Актуальность диагностирования сложного технологического оборудования не вызывает сомнений. Грамотное применение систем диагностики оборудования и автоматических машин приносит существенную экономию от уменьшения затрат на ликвидацию аварий, организацию ремонта и технического обслуживания.

Во всем мире ведутся интенсивные исследования по диагностированию технологического оборудования. Теоретические основы диагностирования отдельных элементов технических систем развиты в трудах А. В. Баркова, Н. А. Барковой [1], М. Д. Генкина [2], В. В. Клюева [3, 8], А. В. Мозгалева, Д. В. Гаскарова [4], П. П. Пархоменко [5], К. Н. Явленского, А. К. Явленского [6] и ряда других авторов. Подходы к оценке остаточного ресурса технических объектов на базе модели в виде системы дифференциальных уравнений рассмотрены в работе [8] В. В. Клюева, А. С. Фурсова, М. В. Филинова. В работах [9–10] А. А. Санникова и Н. В. Куцубиной получили развитие методы вибродиагностики узлов бумагоделательных машин. Применение методов искусственного интеллекта для диагностики узлов технологического оборудования рассмотрено в работах [11–17] И. В. Абрамова, Ю. Р. Никитина, П. И. Степанова, С. В. Лагуткина.

Для эффективной диагностики электрических двигателей технологического оборудования необходимо решить ряд задач, в том числе выбор метода диагностирования, организация процесса диагностирования с учетом критериев эффективности систем диагностирования, интеграция систем диагностирования в системы управления оборудованием, оптимизация процесса диагностирования.

В технологическом процессе производства трехслойных древесностружечных плит (ДСП) с мелкоструктурной поверхностью на основе карбамидоформальдегидных смол используется различное оборудование – обрабатывающие станки, формирующие станции, шлифовальные станки и т. д. Согласно проведенному анализу наиболее часто выходящими из строя узлами на производстве ДСП являются подшипники качения, цепные передачи, электрические двигатели. Так как в них имеются одновременно разные виды неопределенностей, связанные с различными физическими процессами, для принятия решения о техническом состоянии необходимо использовать теорию нечетких множеств, которая позволяет адекватно учесть имеющиеся неопределенности.

В настоящее время методы диагностирования электрических двигателей по вибрации, предложенные и разработанные специалистами предприятия «Виброакустические системы и технологии» [1], широко используются как в России, так и за рубежом. По вибрации обнаруживаются практически все дефекты электрических двигателей, кроме дефектов электрической изоляции. Последние могут быть обнаружены по изменению электрического тока лишь после того момента, когда через поврежденную изоляцию потечет ток.

Был проведен анализ закономерностей между дефектами двигателей и их диагностическими параметрами. На основе данных закономерностей построена база правил системы нечеткого вывода для оценки технического состояния двигателей. Выбран достаточно широкий диапазон частот виброускорения от 6,3 до 1250 Гц, в котором могут проявиться дефекты двигателей технологического оборудования. Для сбора диагностических данных использовался шумомер-виброметр ОКТАВА 110А-Эко с вибропреобразователем AP2082M, который измеряет виброускорение с погрешностью измерений  $\pm 0,5$  дБ. Вибропреобразователь устанавливался на магнит.

Предложена логико-лингвистическая модель диагностирования, прогнозирования остаточного ресурса, определения интервалов диагностирования двигателей технологического оборудования. Данная модель представляет собой комплекс, состоящий из описания исходных лингвистических переменных и технических состояний, базы пра-

вил для определения технического состояния, прогнозирования остаточного ресурса, определения интервалов диагностирования.

Диагностические правила постоянно корректируются по мере сбора информации о конкретном объекте. Вначале используются все известные диагностические признаки, а после пополнения статистического материала устанавливаются правила по качественным изменениям наиболее информативных вибрационных характеристик и показателей режима работы для конкретных дефектов.

Предложен принцип проектирования системы диагностики, который состоит в максимально возможном использовании однотипных узлов (модульный принцип). Этот принцип базируется на активном использовании компьютерной техники, датчиков вибрации, температуры, электрического тока. Второй принцип – использование однотипного математического аппарата – нечеткой логики, которая используется для диагностики, управления, прогнозирования остаточного ресурса работы и определения интервала диагностирования двигателей.

Логико-лингвистическая модель диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса двигателей технологического оборудования и определения интервалов диагностирования на базе нечеткой логики представлена системой уравнений:

$$\begin{cases} x(t) = F(x(t_0), t), \\ D(t) = G(x(t_i), t), \\ Z(t) = H(x(t), D(t), t), \\ R(t) = W(x(t), D(t), Z(t), t), \\ \Delta t = V(x(t), D(t), R(t), t), \end{cases} \quad (1)$$

где  $x(t) = F(x(t_0), K, t)$  – уравнение диагностических параметров;  $x(t)$  – вектор диагностических параметров;  $t$  – выработанный ресурс;  $D(t) = G(x(t_i), t)$  – уравнение расчета вектора тренда диагностических параметров;  $t_i$  – время измерений диагностических параметров;  $Z(t) = H(x(t), D(t), t)$  – уравнение оценки технического состояния;  $R(t) = W(x(t), D(t), t)$  – уравнение оценки остаточного ресурса на момент времени  $t$ ;  $\Delta t = V(x(t), D(t), R(t), t)$  – уравнение определения интервалов диагностирования.

Интервал диагностирования зависит от степени ответственности двигателей и скорости протекания деградационных процессов. Например, на практике встречается последовательность диагностирования элементов в порядке возрастания отношения времени, необходимого

на диагностирование функционального элемента, к вероятности отказа данного элемента.

Предложен критерий  $K_i$ , который вычисляется для  $i$ -го двигателя и учитывает его степень ответственности и скорость протекания в нем деградиционных процессов.

$$K_i = K_{otv} K_{degr}, \quad (2)$$

где  $K_{otv}$  – коэффициент ответственности  $i$ -го узла, элемента, изменяется в диапазоне от 0 до 1 (1 – максимальная степень ответственности);  $K_{degr}$  – коэффициент, характеризующий скорость протекания деградиционных процессов  $i$ -го двигателя, изменяется от 0 до 1 (1 – максимальная скорость протекания деградиционных процессов).

Высокое значение  $K_i$  означает, что более ответственные двигатели с высокой скоростью деградиционных процессов надо диагностировать чаще (интервал диагностирования будет меньше).

Вышеназванные коэффициенты определяются методом экспертных оценок. Приближенные значения коэффициентов приведены в матрице  $K$ . Столбцы в матрице расположены в порядке увеличения скорости деградиционных процессов в двигателях (первый столбец соответствует медленной скорости деградации двигателя, третий столбец – высокой). Строки в матрице расположены в порядке увеличения коэффициента ответственности элементов (первая строка определяет двигатель с минимальной степенью ответственности, третий столбец – максимальной):

$$K = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Например,  $k_{11} = 0,1 \dots 0,3$ ;  $k_{12} = 0,4 \dots 0,5$ ;  $k_{13} = 0,6 \dots 0,8$ ;  $k_{21} = 0,2 \dots 0,4$ ;  $k_{22} = 0,5 \dots 0,6$ ;  $k_{23} = 0,7 \dots 0,9$ ;  $k_{31} = 0,4 \dots 0,5$ ;  $k_{32} = 0,6 \dots 0,8$ ;  $k_{33} = 0,9 \dots 1,0$ .

Коэффициент ответственности двигателя можно определить как функцию потерь производства, связанных с его аварийной заменой:

$$K_{otv} = \sum_{i=1}^k C_i T_i, \quad (4)$$

где  $T_i$  – время простоя при  $i$ -м аварийном отказе двигателя;  $C_i$  – потери при простое при  $i$ -м аварийном отказе объекта;  $k$  – количество аварийных отказов двигателя за 10 лет.

Выбор критерия эффективности систем диагностики представляет достаточно сложную задачу, обусловленную необходимостью одно-временного учета большого количества факторов. Был предложен критерий эффективности систем диагностики как функционал экономических, организационно-технических и технических критериев:

$$Y = F(X_{\text{Э}}, X_{\text{ОТ}}, X_{\text{Т}}), \quad (5)$$

где  $Y$  – критерий эффективности систем диагностики;  $X_{\text{Э}}$  – экономические критерии;  $X_{\text{ОТ}}$  – организационно-технические критерии;  $X_{\text{Т}}$  – технические критерии.

К экономическим критериям относятся: потери при эксплуатации вследствие аварий, затраты на техническое обслуживание и ремонт, объем брака, особенно при производстве дорогостоящей продукции, использования рабочего времени (значение коэффициента готовности), затраты на проведение диагностирования и т. д. Приведенные экономические критерии должны быть оптимизированы. Экономический критерий – экономическая эффективность от применения системы диагностики – определяется как функционал вышеперечисленных экономических критериев:

$$X_{\text{Э}} = F(X_1, X_2, \dots, X_N), \quad (6)$$

где  $X_i$  – частные экономические критерии.

Экономические критерии рассчитываются как разность затрат – на эксплуатацию оборудования без использования устройств диагностирования и эксплуатацию оборудования с использованием устройств диагностирования на всех этапах жизненного цикла.

Например, экономические результаты применения систем диагностирования определены коэффициентом эффективности капитальных вложений, который выражает годовую экономию от применения диагностики.

$$E = (C_1 - C_2) / (K_1 - K_2), \quad (7)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – себестоимость годового выпуска продукции без диагностирования и с диагностированием двигателей;  $K_1$  и  $K_2$  – капитальные затраты на производство годового выпуска деталей без применения системы диагностирования и с диагностированием двигателей.

Организационно-технические критерии включают: порядок анализа диагностических параметров, точность определения технического состояния, время и интервал диагностирования двигателей.

Технические критерии вытекают из организационно-технических критериев: структура устройства диагностирования, характеристики

датчиков, разрядность и быстродействие аналого-цифровых преобразователей, разрядность и быстродействие процессора, объем памяти, алгоритмы и программы диагностирования, стоимость устройства диагностирования, его масса и габариты.

Разработана схема интегрированного устройства управления и диагностики двигателей на базе микроконтроллера, учитывающая электромеханические характеристики двигателя. Разработаны алгоритм и программа управления и диагностики двигателя.

### **Выводы**

Для эффективной диагностики электрических двигателей технологического оборудования предложен метод диагностирования на базе нечеткой логики, организация процесса диагностирования с учетом критериев эффективности систем диагностирования, интеграция систем диагностирования в системы управления оборудованием, оптимизация процесса диагностирования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-01181 а.*

### **Список литературы**

1. Барков, А. В. Вибрационная диагностика электрических машин в установившихся режимах работы текст / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. А. Борисов. – СПб. : Северо-Западный учебный центр, 2009. – 20 с.
2. Генкин, М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М. Д. Генкин, А. Г. Соколова. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.
3. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / под ред В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1995. – 487 с.
4. Мозгалевский, А. В. Техническая диагностика (непрерывные объекты) / А. В. Мозгалевский, Д. В. Гаскаров. – М. : Высш. шк., 1975. – 207 с.
5. Основы технической диагностики / под ред. П. П. Пархоменко. – М. : Энергия, 1976.
6. Явленский, К. Н. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем / К. Н. Явленский, А. К. Явленский. – Л. : Машиностроение, Лен.отд., 1983. – 239 с.
7. Клюев, В. В. Подходы к построению систем оценки остаточного ресурса технических объектов / В. В. Клюев, А. С. Фурсов, М. В. Филинов // Контроль. Диагностика. – 2007. – № 3. – С. 18–23.
8. Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум: монографический сборник / под ред. А. А. Санникова, Н. В. Куцубиной. – Екатеринбург : Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 416 с.

10. *Исаков, С. Н.* Диагностика технического состояния оборудования масоподводящей системы бумагоделательных машин / С. Н. Исаков, Н. В. Куцубина // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – № 5. – С. 58–59.

11. Диагностика систем приводов деревообрабатывающего оборудования с использованием нечеткой логики / И. В. Абрамов, А. И. Абрамов, Ю. Р. Никитин, А. В. Романов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 1. – С. 31–34.

12. *Никитин, Ю. Р.* Диагностирование мехатронных систем : учеб. пособие / Ю. Р. Никитин, И. В. Абрамов. – Саратов : Вузовское образование, 2013. – 116 с.

13. *Никитин, Ю. Р.* Интеллектуальные узлы машин с функциями диагностики // Вибродиагностика, триботехника, вибрации и шум : монографический сборник материалов семинара VII Междунар. науч.-техн. конф. «Социально-экономические и экологические проблемы лесного хозяйства» / под ред. А. А. Санникова и Н. В. Куцубиной. – Екатеринбург : Уральск. гос. лесотехн. университет, 2009. – С. 120–124.

14. *Никитин, Ю. Р.* Информационные процессы в устройствах диагностирования мехатронных систем / Ю. Р. Никитин, И. В. Абрамов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1(17). – С. 206–215.

15. *Никитин, Ю. Р.* Логико-лингвистическая модель диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса мехатронных объектов / Ю. Р. Никитин, И. В. Абрамов, П. И. Степанов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 79–87.

16. *Степанов, П. И.* Комплексная токовая и вибродиагностика электромеханических систем / П. И. Степанов, С. В. Лагуткин, Ю. Р. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 160–165.

17. *Степанов, П. И.* Механические и электрические диагностические параметры электрических приводов / П. И. Степанов, С. В. Лагуткин, Ю. Р. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2(24). – С. 59–63.

## **Diagnostics of technical condition of the electric motors of woodworking equipment**

**Abstract.** *The methods and principles of design of systems diagnostics were considered. The efficiency criteria of diagnosis was selected. Diagnostic systems and control systems were integrated. The process of diagnosis was optimized.*

**Keywords:** diagnostics, efficiency, control, integration, optimization.



*О. В. Пиманова*, ст. преподаватель  
E-mail: pimanova\_o\_v@istu.ru, olga22021961@mail.ru  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Адаптация первокурсников направления «Электроэнергетика и электротехника» и ее особенности**

*В статье рассмотрены различные аспекты адаптации. Проведены исследования студентов I и II курса. Сделаны выводы.*

**Ключевые слова:** адаптация, профессиональная, социальная, психологическая, дидактическая, биологическая.

Первый год обучения студента в вузе считается самым трудным, сложным. Трудности, ожидающие первокурсника, связаны с изменением содержания и объема учебного материала, изменением вида занятий, с незнакомыми профессиональными терминами, отсутствием способности самостоятельно работать, неумением анализировать, конспектировать учебную, техническую литературу, новой средой, новыми отношениями преподаватель – студент, слабой профессиональной ориентацией.

Для определения особенностей адаптации студентов-первокурсников выясним понимание термина «адаптация».

А. К. Гришанов и В. Д. Цуркан полагают, что адаптация студента – процесс приведения основных личностных характеристик в соответствие, в состоянии равновесия в новых условиях вуза [1].

Т. И. Ронгинская считает, что адаптация студентов – это сложный процесс перестройки психической деятельности, и он должен проявляться в изменениях характеристик личности во время адаптационного процесса [2].

А. В. Сиомичев полагает, что адаптация студентов-первокурсников связана с преодолением трудностей в новой вузовской среде, созданием внутригрупповых отношений, приспособленных к новым формам обучения [3].

П. А. Просецкий характеризует адаптацию как активное творческое приспособление студентов первого года обучения к условиям высшей

школы, в процессе которого у них формируются навыки и умения организовывать умственный труд, любовь к выбранной профессии, правильный режим труда, желание к дальнейшему профессиональному образованию и самовоспитанию необходимых качеств личности. В основе адаптации личности как динамического явления лежат противоречия между требованиями, предъявляемыми новой средой и умением личности.

В общем процессе адаптации выделяют две стадии:

1. Адаптивная реакция, характеризующаяся напряжением личностной системы, что выражается в сильном увеличении количества связей и наиболее интенсивном преобразовании личности.

2. Адаптивная стабилизация, которая характеризуется уменьшением напряжения личностной системы, выражающимся в уменьшении количества связей и отсутствия преобразований личности. Переход от одной стадии к другой осуществляется через пик адаптивной нагрузки, когда напряжение личностной системы достигает максимума.

Ряд авторов [4–5] полагают, что для оказания оптимальной помощи студенту нужно учесть, что адаптация в вузе имеет ряд аспектов:

1. Профессиональная адаптация – это приспособление к структуре высшей школы к компонентам учебного процесса, особенностям избранной профессии. Студенты испытывают трудности в профессиональной адаптации: непонимание выбранной профессии, отсутствие подготовки к ней, новизна системы обучения в вузе, большое количество экзаменов, зачетов в учебном плане, огромное количество новой информации в учебных программах, сложность и новизна изучаемых предметов.

2. Социальная адаптация – процесс вхождения личности в деятельность студенчества как социальной группы. При этом студенты испытывают следующие проблемы: с жильем, неумение вести свой быт, проблема со здоровьем, недостаточность материальных средств, необходимость подрабатывать и учиться.

3. Психологическая адаптация – привыкание к новым условиям, формирование доброжелательных отношений между одногруппниками, преподавателями. У первокурсников возникают следующие затруднения: трудность налаживания отношений с сокурсниками, преподавателями, переживания, связанные с уходом из школы и др.

4. Дидактическая адаптация, связанная с новой организацией учебного процесса в вузе. При этом студенты испытывают следующие трудности: изменения опросной системы, изменение контроля за успеваемостью, неумение пользоваться библиотекой.

5. Биологический аспект адаптации, который связан, прежде всего, с перестройкой организма применительно к новым условиям и режиму. Студенты испытывают следующие трудности: тяжело высиживать занятия по 1,5 часа, физически трудно учиться по 5 пар в день, тяжело жить вдали от дома, родителей, родных, в общежитии, на квартире.

Содержательные характеристики положены в основу психолого-педагогического исследования студентов I, II курсов ИжГТУ имени М. Т. Калашникова по направлению «Электроэнергетика и электротехника» групп Б01-831-1 и Б03-831-1. Целью данного исследования является выявление особенностей адаптации студентов к обучению в вузе. При диагностике использованы методики:

1) «Изучение мотивации обучения в вузе» (А. А. Репин, В. А. Якунин).

2) «Методика выявления типичных трудностей первокурсников» (Б. Г. Мещеряков).

3) «Методика определения уровня адаптированности студентов в вузе».

В процессе психолого-педагогического исследования были выявлены качественные различия в прохождении студентами адаптационного периода.

Исследование мотивационной составляющей выбора учебного заведения и выбора профессии студентами (рис. 1).

Поступить в ИжГТУ вы решили:

**Б01-831-1**

**Б03-831-1**



Рис. 1. Мотивационная составляющая выбора студентов

В скобках приводятся данные по группе Б03-831-1. По результатам опроса выявлена студентка со случайной мотивацией. В ИжГТУ по-

ступать собиралась со школы, но, не пройдя по конкурсу на инженерно-строительный факультет, поступила на направление «Электроэнергетика и электротехника», т. е. где проходила по конкурсу. Большая часть студентов (43 %) планировала свое профессиональное обучение в ИжГТУ с сформированной технической базой, традициями, преподавательским составом, занимающем достойное место среди вузов страны (рис. 2).

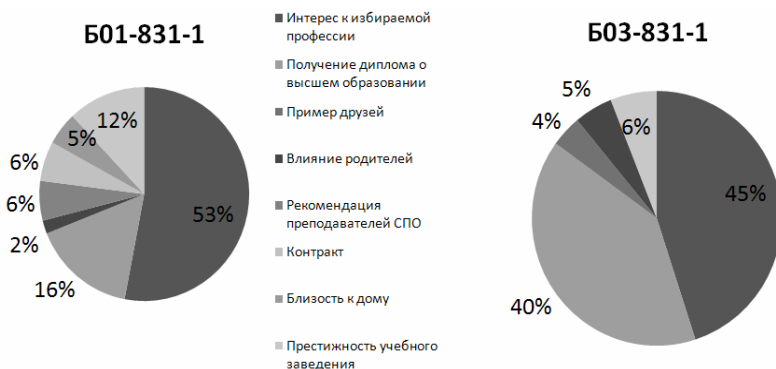


Рис. 2. Факторы, влияющие на выбор вуза

Некоторые студенты назвали престижность учебного заведения, что свидетельствует о заинтересованности обучения студентов в этом учебном заведении.

Следующим вопросом была установлена степень удовлетворенности учебным заведением: спустя 2 месяца обучения студенты группы B01-831-1 – 63 % (47 %) полностью довольны, а 37 % (53 %) частично удовлетворены. Видно, что второкурсники выдвигают более высокие требования к учебному заведению, поэтому процент полностью довольных студентов (47 %) меньше, чем у первокурсников (рис. 3).

Далее проведено исследование факторов, повлиявших на выбор данного вуза (рис. 2).

Проблемой у первокурсников является отсутствие опеки родителей, учителей, систематического контроля посещаемости, успеваемости, рационального использования времени и сил. Иногда студенты пропускают занятия, что приводит к неуспеваемости по предметам, к неполучению зачетов, к несдаче экзаменов, а затем и к отчислению.

Работая куратором около десяти лет, заметила, что в конце года 4–5 студентов отчисляются. Способные, которые смогли бы учиться и освоить учебную программу, но не смогли адаптироваться к выс-

шей школе. За 2013/14 учебный год выбыло 5 студентов (22 %), за 2014–2015 год выбыло 6 человек (23 %), хотя они могли бы учиться.

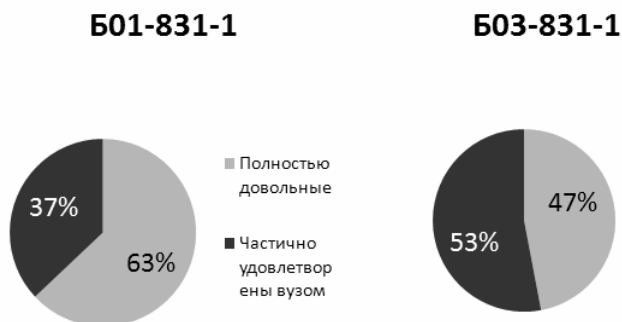


Рис. 3. Степень удовлетворенности учебным заведением

Следующим аспектом исследования было изменение образа жизни в связи с поступлением в вуз:

– Первая категория студентов, образ жизни которых полностью изменился, т. е. студент переехал к месту учебы, сам стал вести свой быт, распоряжаться финансами, учиться в вузе, поменялось окружение на учебе и вне учебы (рис. 4).

– Вторая категория студентов, образ жизни которых изменился незначительно.

– Третья категория студентов, образ жизни которых не изменился.



Рис. 4. Изменение образа жизни в связи с поступлением в вуз

Более уязвимой группой, подверженной дезадаптации, является первая группа студентов.

Около одной четвертой части студентов отнесены к группе риска. Исследовано желание студентов идти в вуз, их настроение.

По результатам опроса выделены 3 группы студентов (рис. 5).

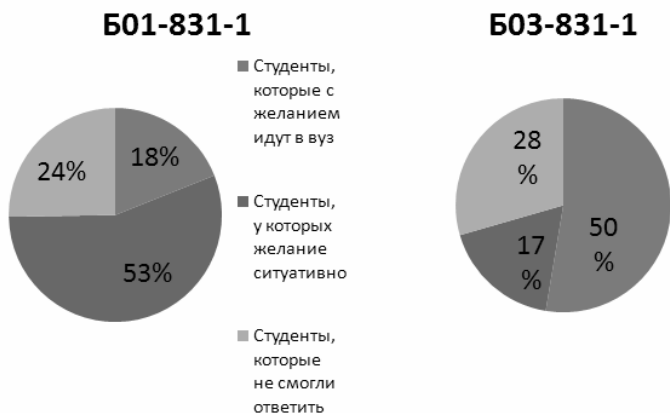


Рис. 5. Исследование желания студентов идти в вуз, их настроение

Продолжая психолого-педагогический анализ, выделены следующие характеристики: направленность на профессию и учебную деятельность; изучение проблем первокурсников; изучение трудностей в учебной и внеучебной деятельности.

По Методике выявления типичных трудностей проведено исследование 1-го и 2-го курсов.

Анализируем 1-й курс – группу Б01-831-1 (рис. 6).

а) Профессиональная адаптация. Трудности испытывали 54,5 % студентов, а 45,5 % студентов не испытывали. Это очень высокий процент адаптивности.

б) Социальная адаптация. Испытывают затруднения 54,5 % студентов, преобладают материальные трудности: финансово тяжело платить за съемную комнату, много денег уходит на дорогу, нет жизненного опыта ведения быта, рационального распределения финансов. 45,5 % студентов вообще не испытывали затруднений в данном аспекте адаптации – это относительно высокий показатель социальной адаптивности.

в) Психологическая адаптация. Испытывают затруднения 22,7 % студентов – проблемы отношений с преподавателями, а 77,3 % студен-

тов не испытывают трудностей. Это очень высокий процент адаптации. Студенты отмечают комфортное пребывание в вузе, хорошие отношения со студентами, преподавателями.

г) Высокая адаптивность в дидактическом аспекте – 31,8 % студентов испытывают трудности: система оценивания, сложность новых понятий, контроль за успеваемостью, аттестация, а 68,2 % студентов не испытывали проблем в этом аспекте.

д) Низкий процент адаптивности был выявлен в биологическом аспекте адаптации. 45,5 % студентов имеют трудности. Тяжело выдерживать занятия, всю учебную неделю, неравномерное распределение сложных пар, заниматься по 5 пар в день, особенно в пятницу, накапливается усталость за рабочую неделю, а по расписанию 3 пары высшей математики. Один из студентов пишет: тяжело жить вдали от дома, скучаю по семье.

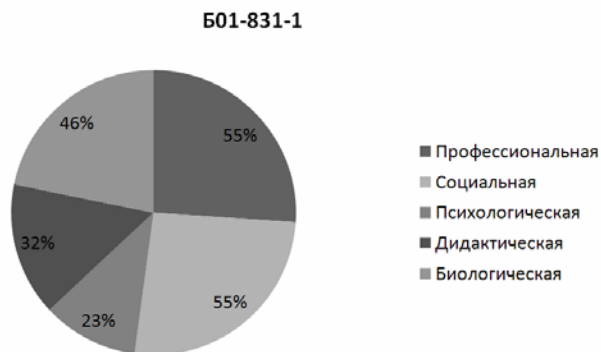


Рис. 6. Типичные трудности в разных аспектах адаптации

Подводя итог по результатам, видно, что студентам 1-го курса необходимо адаптироваться в профессиональном, социальном, биологическом аспектах.

Анализируем 2-й курс – группу Б03-831-1 (рис. 7).

а) Профессиональная адаптация. Трудности испытывали 41,7 % студентов, а 58,3 % не испытывали. Это очень высокий процент адаптивности. Студенты, которые испытывали трудности, в течение семестра затруднения исчезли.

б) Социальная адаптация. Испытывали затруднения 33,3 % студентов в течение одного-двух месяцев, затем затруднения исчезли. 66,6 % студентов вообще не испытывали затруднений в данном аспекте адаптации – это прекрасный показатель социальной адаптивности.

в) Психологическая адаптация. Испытывали затруднения 16,6 %, а 83,3 % не испытывали трудностей. Показатели отмечают комфортное пребывание в вузе, хорошие отношения со студентами, преподавателями.

г) Очень высока адаптивность в дидактическом аспекте. 16,6 % испытывали трудности, а 83,4 % не испытывали проблем в этом аспекте.

д) Самый низкий процент адаптивности был выявлен в биологическом аспекте адаптации. 66,6 % студентов имеют трудности, часть студентов даже по истечению года обучения испытывают затруднения. Трудно заниматься по 1,5 часа без перерыва, писать все занятие, заниматься по 5 пар в день. Один из студентов пишет: «Трудно жить вдали от дома за 3500 км. Домой ехать 3 дня поездом. Не могу встретить с родными Новый год! Но я уже привык». Анализируем все полученные результаты, адаптационный период прошел успешно. Группа проявляет интерес к знаниям, учится хорошо. У группы, поступившей в этом году, все еще впереди. Формируется коллектив, ребята активнее начали участвовать в мероприятиях, стараются учиться хорошо, а остальное приложится.

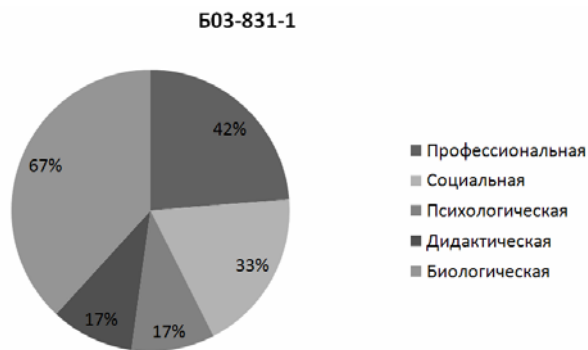


Рис. 7. Типичные трудности в разных аспектах адаптации

Чтобы помочь студенту-первокурснику и облегчить адаптационный процесс, необходимо всем подразделениям вуза осуществлять помощь комплексно учебными, научными, общественными организациями в совместном взаимодействии куратора и всех преподавателей. Для того чтобы адаптационный процесс протекал быстро и безболезненно, необходимо:

1) учитывать, что происходит адаптация у студентов, начинающих обучение, при составлении учебных планов;



2) научить студента учиться в вузе. На встрече с первокурсниками заведующий кафедрой В. А. Морозов объяснил, как готовиться к занятиям в вузе, к лекциям, практическим, лабораторным, желательно, чтобы преподаватели учили, как заниматься по их предметам;

3) проведение курса «Введение в специальность» в 1-м семестре, чтобы студенты представляли свою специальность, усилить этим мотивацию к обучению, к самостоятельной работе;

4) использовать помощь старшекурсников, помощников кураторов при работе с первокурсниками;

5) рекомендовать студентам участие в социально-психологических тренингах для улучшения общения, формирования реальной самооценки;

6) куратор, заведующий кафедрой, преподаватель должны объяснить методы и формы обучения, специфику учебной деятельности, самостоятельной и общественной работы в вузе;

7) вовлечение студентов-первокурсников в спортивные, творческие, культурно-массовые мероприятия, экскурсии;

8) куратору иметь контакт со студентами, знать их проблемы;

9) декану факультета обратить внимание на особо нуждающихся первокурсников и оказать материальную помощь.

### Список литературы

1. *Гришанов, Л. К.* Социологические проблемы адаптации студентов младших курсов / Л. К. Гришанов, В. Д. Цуркан // Психолого-педагогические аспекты адаптации студентов к учебному процессу в вузе. – Кишинев : МНО, Кишин. гос. ун-т им. В. И. Ленина, 1990. – С. 29–41.

2. *Ронгинская, Т. И.* Изменение системы личностных характеристик в процессе адаптации студентов : автореф. дисс. ... канд. психол. наук. – Л., 1987. – 16 с.

3. *Сиомичев, А. В.* Психологические особенности адаптации студентов в сфере познания и общения в вузе : автореф. дисс. ... канд. психол. наук. – Л., 1985. – 17 с.

4. Особенности адаптации студентов 1-го курса к обучению в вузе [Электронный ресурс] // Управление организационно-воспитательной работы со студентами ИжГТУ имени М. Т. Калашникова [Сайт]. – URL: <http://uovr.istu.ru/curator/p-adaptation.html> (дата обращения: 04.06.2016).

5. *Чикина, Т. Е.* Адаптивное обучение первокурсников // Высшее образование в России. – 2009. – № 6. – С. 143–145. – URL: <http://vovr.ru/upload/6-09.pdf> (дата обращения: 04.06.2016).

**Adaptation of freshmen  
of direction is “Electroenergy and electrical engineering”  
and its features**

**Abstract.** *The different aspects of adaptation are considered in the article. Studies of students of I and II- are undertaken oho course. Drawn conclusion.*

**Keywords:** adaptation professional is social, psychological, didactic, biological.

*А. А. Пономарев*, магистрант

*И. В. Штенников*, канд. техн. наук, доц.

*Е. А. Шкляев*, бакалавр

E-mail: alexey9319@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Разработка усилителя малых токов для контроля удельных сопротивлений диэлектриков**

*Разработан усилитель малых токов по схеме преобразователь ток – напряжение с последующим усилением напряжения масштабным усилителем. Проведено его экспериментальное опробование в составе прибора при измерении удельных объемного и поверхностного сопротивлений гетинакса и текстолита.*

**Ключевые слова:** малые токи, методы измерения, усилители постоянного тока, операционные усилители, удельные объемное и поверхностное сопротивления диэлектриков.

В современной промышленности существует необходимость контроля малых токов. Множество физических явлений сопровождается протеканием токов малых и сверхмалых значений. К таким явлениям относится пьезоэлектрический эффект, заключающийся в возникновении на поверхности некоторых диэлектриков, при их механической деформации, электрических зарядов. Сверхмалые токи имеют место при измерении сопротивления изоляции высоковольтных кабелей, удельных объемного и поверхностного сопротивлений электроизоляционных материалов и т. д. [1].

Для контроля малых и сверхмалых токов существуют различные методы измерения и широкая номенклатура приборов, изготавливаемых отечественными и зарубежными производителями, начиная от простых гальванометров и заканчивая цифровыми пикоамперметрами, электрометрами, измерительно-питающими устройствами, позволяющими измерять токи до фемтоампер ( $10^{-15}$  А) [4].

С помощью гальванометра возможно измерять ток величиной порядка единиц пикоампер. Однако этот прибор сложен по конструкции и при эксплуатации не допускает даже малой вибрации [1].

Широкое применение для измерения малых токов находят усилители постоянного тока (УПТ) [1]. Первые УПТ были ламповые, однако они имеют ряд недостатков: большие анодные напряжения, высокий температурный и временной дрейф нуля. В настоящее время они не применяются в связи с появлением полупроводниковых элементов и интегральных микросхем, что позволило создать УПТ с малым дрейфом нуля, небольшой мощности, малыми габаритами и массой.

Наименьший дрейф нуля имеют УПТ типа МДМ – «модуляция-демодуляция», которые подразделяют на релейные (вибрационные) преобразователи и в интегральном исполнении – операционные усилители (ОУ). Для первых из них характерны: большая инерционность и недостаточно высокая надежность.

Построение УПТ на интегральных микросхемах позволило снизить дрейф нуля, улучшить технические характеристики усилителей малых токов. Одним из наиболее часто применяемых методов измерения малых токов является применение 100 % отрицательной обратной связи в УПТ, показанных в схемах на рис. 1. Измеряемый ток  $I_x$  компенсируется током резистора  $R_0$ . При идеальном операционном усилителе входное сопротивление  $R_{вх} = R_0 / (K + 1)$  стремится к нулю при  $K \rightarrow \infty$ . Выходное напряжение этой схемы равно произведению  $I \cdot R_{н}$ , таким образом, схема является почти идеальным преобразователем входного тока в выходное напряжение усилителя.

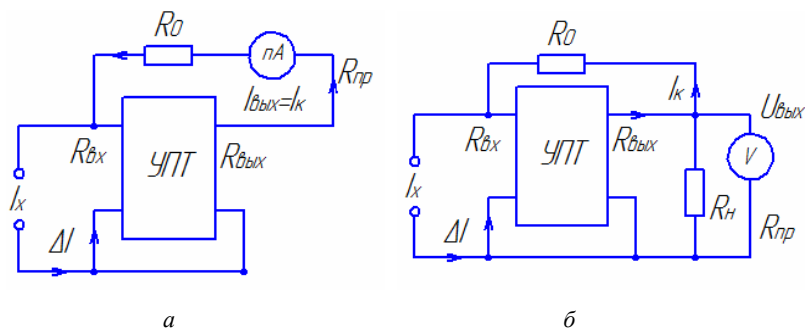


Рис. 1. Схемы с параллельной отрицательной обратной связью: для преобразования малых токов в токи наноамперметра (а); для преобразования малых токов в постоянное напряжение (б)

Однако данные схемы имеют серьезный недостаток – погрешность из-за напряжения смещения нуля УПТ и конечных значений входных токов (точнее, их разности) [1].

Использование операционных усилителей для контроля малых токов реализовано в приборе для определения удельных объемного и поверхностного сопротивлений твердых диэлектриков, структурная схема которого приведена на рис. 2.

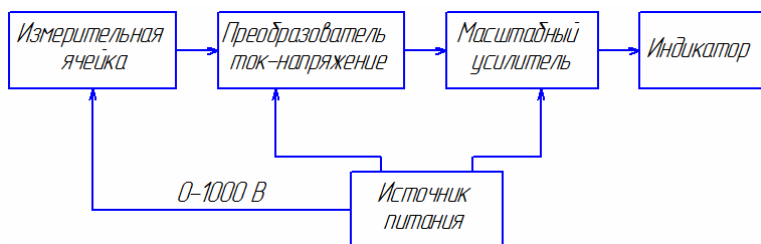


Рис. 2. Структурная схема прибора для измерения удельных электрических сопротивлений твердых диэлектриков

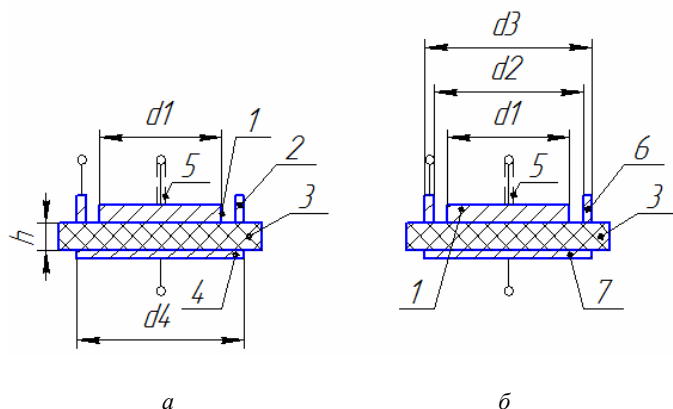


Рис. 3. Схема расположения электродов при измерении удельного объемного (а) и удельного поверхностного (б) сопротивлений диэлектрика: 1 – измерительный цилиндрический электрод; 2 – охранный кольцевой электрод; 3 – образец диэлектрика; 4 – цилиндрический электрод высокого потенциала; 5 – экран; 6 – кольцевой электрод высокого потенциала; 7 – охранный цилиндрический электрод

Измерительная ячейка, входящая в состав прибора, состоит из системы латунных цилиндрических электродов. Схема их размещения показана на рис. 3.

По результатам выполненных измерений: тока, напряжения, толщины диэлектрика – определяются удельные объемное и поверхностное сопротивления диэлектрика по формулам:

$$\rho_v = R_v \cdot \frac{S_1}{h}, \quad (1)$$

$$\rho_s = R_s \cdot \frac{S_2}{l}, \quad (2)$$

где  $R_v = U/I_v$  – объемное сопротивление диэлектрика;  $R_s = U/I_s$  – поверхностное сопротивление диэлектрика;  $U$  – напряжение, приложенное к образцу диэлектрика;  $I_v, I_s$  – объемный и поверхностный токи соответственно, протекающие через диэлектрик;  $S_1 = \pi d_1^2/4$  – площадь измерительного электрода;  $d_1$  – диаметр высоковольтного электрода;  $S_2 = \pi(d_2 + d_1)/2$  – условное сечение равное длине средней окружности;  $d_2$  – внутренний диаметр кольцевого электрода;  $h$  – толщина диэлектрика;  $l = d_2 - d_1/2$  – длина пути утечки тока по поверхности диэлектрика;  $d_3$  – внешний диаметр кольцевого электрода;  $d_4$  – диаметр электрода высокого потенциала.

Преобразователь ток – напряжение, предназначенный для преобразования входного тока в пропорциональное ему выходное напряжение, выполнен на операционном усилителе марки МАХ406ВСПА, приведенном на рис. 4.

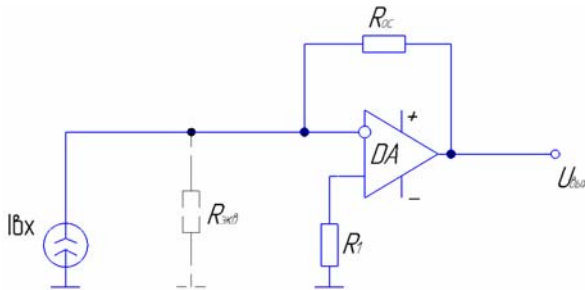


Рис. 4. Преобразователь ток – напряжение на операционном усилителе

Верхний предел тока ограничивается выходным током ОУ.

Выбор данного усилителя обоснован тем, что по сравнению с другими усилителями он обладает лучшими параметрами: самым малым входным током, малым током потребления, большим коэффициентом усиления. Некоторые технические характеристики ОУ МАХ406ВСПА приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры операционного усилителя MAX406BCPA

| ОУ         | $I_{вх}, \text{нА}$ | $U_{пит}, \text{В}$ | $I_{потр}, \text{мкА}$ | $I_{см.вх}, \text{нА}$ | $U_{см.вх}, \text{мкВ}$ | $K_U$             |
|------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
| MAX406BCPA | 0,01                | $\pm 2,5$           | 1                      | 0,0001                 | 500                     | $1000 \cdot 10^3$ |

Благодаря высокому коэффициенту усиления выходное напряжение определяется соотношением:

$$U_{\text{вых}} = -R_{\text{ос}} \cdot I_{\text{вх}}, \quad -R_{\text{ос}} = 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Для снижения погрешности схемы преобразователя ток – напряжение принимались во внимание следующие моменты [2]:

1) при малых входных токах (менее 1 мкА) использованы ОУ с полевыми входами, имеющие незначительные входные токи;

2) погрешность, связанная с входными токами, уменьшается включением дополнительного резистора  $R_1$ , равного  $R_{\text{ос}}$ , между неинвертирующим входом и землей (рис. 4);

3) для уменьшения дрейфа входных токов от температуры, ограничили тепло, выделяемое самим ОУ. Для этого снизили напряжение питания ОУ до минимума ( $\pm 2,5 \text{ В}$ ). Кроме того, к выходу ОУ подключили высокоомную нагрузку. Общее сопротивление нагрузки составляет не менее 10 кОм;

4) при измерении малых токов регулирование смещения осуществляется в последующем каскаде схемы – масштабном усилителе;

5) преобразователь ток – напряжение с большим коэффициентом усиления является высокочувствительной высокоомной схемой. Поэтому для защиты от помех она заключена в экранирующий корпус, имеет также хорошую развязку по питанию.

Масштабный усилитель, основным звеном которого является ОУ марки ОРА177GP, собран по схеме инвертирующего усилителя с отрицательной обратной связью, приведенной на рис. 5. На его вход поступает напряжение, снимаемое с выхода преобразователя ток – напряжение, и усиливается с коэффициентом усиления:

$$K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = -\frac{R_2}{R_1}.$$

Входное сопротивление масштабного усилителя:

$$R_{\text{вх}} \approx R_1 = 10 \text{ кОм.}$$

Для регулирования диапазона измерения тока в цепь обратной связи подключены четыре резистора (рис. 5), каждый из которых включается в цепь обратной связи при необходимом диапазоне измерений.

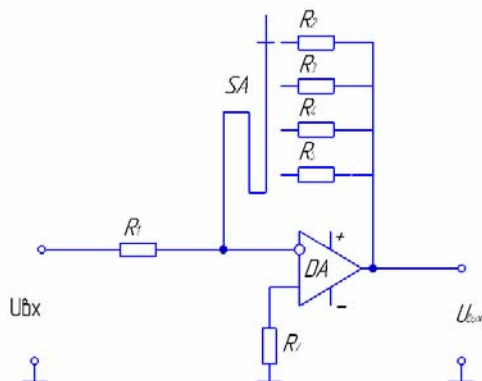


Рис. 5. Схема масштабного усилителя

Сопротивление  $R_3$  не влияет на коэффициент усиления и вводится для уменьшения изменений выходного напряжения, вызванных временными или температурными колебаниями входных токов.

Источник питания прибора обеспечивает подачу постоянного напряжения на электроды измерительной ячейки величиной от 0 до 1000 В, питает преобразователь ток – напряжение и масштабный усилитель двухполярным напряжением  $\pm 2,5$  и  $\pm 15$  В соответственно.

Разработанная схема усилителя малых токов в составе прибора контроля удельных сопротивлений диэлектриков опробована при измерении удельных объемного и поверхностного сопротивлений двух электроизоляционных материалов – гетинакса типа 113 и текстолита марки ЛТ. Результаты измерений и величины удельных сопротивлений диэлектриков приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты измерений и вычислений

| Испытываемый диэлектрик | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | $h$ , мм | $U$ , В       | Объемное                   |                                 |                                 |
|-------------------------|------------|------------|----------|---------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                         |            |            |          |               | $I_V$ , нА                 | $R_V$ ,<br>( $10^{11}$ Ом)      | $\rho_V$ ,<br>( $10^{11}$ Ом·м) |
| Гетинакс                | 50         | 54         | 1        | 100           | 0,64                       | 1,56                            | 3,12                            |
|                         |            |            |          | 500           | 9                          | 0,56                            | 1,11                            |
|                         |            |            |          | 1000          | 32                         | 0,31                            | 0,63                            |
|                         |            |            |          | Поверхностное |                            |                                 |                                 |
|                         |            |            |          | $I_S$ , нА    | $R_S$ ,<br>( $10^{13}$ Ом) | $\rho_S$ ,<br>( $10^{13}$ Ом·м) |                                 |
|                         |            |            |          | 100           | 0,046                      | 0,22                            | 17,7                            |
|                         |            |            |          | 500           | 0,34                       | 0,15                            | 12                              |
|                         |            |            |          | 1000          | 1,7                        | 0,06                            | 4,8                             |



Окончание табл. 2

| Испытываемый диэлектрик | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | $h$ , мм | $U$ , В       | Объемное                 |                               |                                   |
|-------------------------|------------|------------|----------|---------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
|                         |            |            |          |               | $I_V$ , нА               | $R_{V_s}$<br>( $10^{11}$ Ом)  | $\rho_{V_s}$<br>( $10^{11}$ Ом·м) |
| Текстолит               | 50         | 54         | 5        | 100           | 0,12                     | 8,33                          | 3,33                              |
|                         |            |            |          | 500           | 1,3                      | 3,85                          | 1,54                              |
|                         |            |            |          | 1000          | 4,8                      | 2,1                           | 0,83                              |
|                         |            |            |          | Поверхностное |                          |                               |                                   |
|                         |            |            |          | $I_s$ , нА    | $R_s$<br>( $10^{13}$ Ом) | $\rho_s$<br>( $10^{13}$ Ом·м) |                                   |
|                         |            |            |          | 100           | 0,06                     | 0,17                          | 13,86                             |
|                         |            |            |          | 500           | 0,58                     | 0,09                          | 7,34                              |
|                         |            |            |          | 1000          | 2                        | 0,05                          | 4,1                               |

В результате проведенных измерений установлено, что через диэлектрик протекают очень малые значения токов – от 0,046 до 32 нА. Значение тока зависит от значений объемного и поверхностного сопротивления, которые в свою очередь зависят от ряда внешних факторов: влажности, температуры окружающей среды, чистоты и гладкости поверхности образцов, наличия окисных пленок на поверхности электродов. Полученные значения удельных сопротивлений диэлектриков соответствуют известным техническим данным исследованных электроизоляционных материалов – гетинакса и текстолита [3].

#### Список литературы

1. *Афонский, А. А.* Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике / А. А. Афонский, В. П. Дьяконов ; под ред. проф. В. П. Дьяконова. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 688 с.
2. *Пейтон, А. Дж.* Аналоговая электроника на операционных усилителях / А. Дж. Пейтон, В. Волш. – М. : БИНОМ, 1994. – 352 с.
3. ООО «ТД Промполимер» [Сайт]. – URL: <http://www.prom-polymer.ru/index.htm> (дата обращения: 10.11.2015).
4. Каталог измерителей малых величин Keithley [Электронный ресурс] // Компания ЭЛИКС [Сайт]. – URL: [http://www.eliks.ru/kio/index.php?SECTION\\_ID=1202](http://www.eliks.ru/kio/index.php?SECTION_ID=1202) (дата обращения: 26.10.2015).

### Development of small current amplifier for controlling the resistivity of insulators

**Abstract.** *Designed for small-current amplifier converter circuit current-voltage followed by a voltage amplification massive amplifier. A pilot testing it as a part of the device when measuring the specific volume and surface resistivity Micarta and PCB.*

**Keywords:** small currents, methods of measurement amplifiers in direct current (DCA), operational amplifiers (op amps).

*О. В. Пономарева*, канд. техн. наук, доц.

*А. В. Пономарев*, канд. экон. наук

*Н. В. Пономарева*, аспирант

E-mail: ponva@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Приборы дискретных косвенных измерений параметров электрических сигналов**

*Показано, что спецификой квазидетерминированных и случайных дискретных электрических измерительных сигналов во многих предметных областях является конечность интервала измерения и наличие в их структуре скрытых периодических и ангармонических сигналов, что требует применения наряду с временной формой, также частотной и частотно-временной форм представления. Введено понятие области дискретных косвенных измерений, выявлены характерные тенденции развития данного вида измерений, дан их системный анализ. Рассмотрена постановка актуальных задач в данной области измерений, имеющих важное научное и прикладное значение.*

**Ключевые слова:** дискретные косвенные измерения, измерительный сигнал, спектр, измерительное преобразование, вычислительное преобразование, базисная система.

### **Введение**

Одной из важнейших задач обеспечения повышения качества продукции является получение точных и достоверных знаний о состоянии объектов, свойствах явлений и процессов методами и средствами измерений. На практике большинство различного рода физических величин, характеризующих состояние объекта измерения<sup>1</sup> в той или иной предметной области, преобразуются в процессе измерений в электрические измерительные сигналы<sup>2</sup> (ЭИС), параметры которых содержат количественную информацию об измеряемых физических величинах и функционально с ними связаны. В зависимости от конкретной предметной области ЭИС имеют разную *информаци-*

---

© Пономарева О. В., Пономарев А. В., Пономарева Н. В., 2016

<sup>1</sup> **Объект измерения** – тело (физическая система, процесс, явление и т. д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми физическими величинами (РМГ 29–99).

<sup>2</sup> **Измерительный сигнал** – сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине (РМГ 29–99).

**онную природу.** При виброакустическом функциональном диагностировании машин и механизмов вибрации от зарождающихся дефектов с помощью датчиков вибрации, реализующих принцип кинематического или динамического измерения вибраций, преобразуются в виброакустический электрический сигнал, измеряемые параметры<sup>1</sup> которого позволяют проводить *безразборное диагностирование* объекта [1]. В медицинской компьютерной диагностике косвенные методы измерения временных и частотных параметров электрических биомедицинских сигналов [2] являются важным инструментом объективного оценивания функционального состояния человека. В современных пассивных гидролокационных системах косвенные методы измерения параметров гидроакустических сигналов играют важную роль при обнаружении и классификации надводных и подводных кораблей. При этом для преобразования акустических волн, распространяющихся от объекта в водной среде, в гидроакустический сигнал используются ненаправленные и направленные одиночные датчики, чувствительные к ультразвуку (гидрофоны), или акустические буи, а также антенные решетки [3].

Измерительные сигналы имеют не только разную информационную природу, но и *различную форму представления*. Различают следующие три класса измерительных сигналов: аналоговые сигналы, дискретные сигналы, цифровые сигналы. Отличие между собой этих классов сигналов связано с тем, какие значения могут принимать сами сигналы и их аргументы. В дискретных электрических измерительных сигналах (ДЭИС) значения аргумента на временной оси могут размещаться как неравномерно, так и равномерно. В последнем случае ДЭИС часто называют *решетчатыми функциями, временными рядами, временными последовательностями* или *просто последовательностями*. Возможны три варианта получения дискретных (цифровых) сигналов. Первый вариант – когда исходный сигнал дискретен по своей природе. Второй вариант получения дискретных сигналов – когда исходный сигнал непрерывен, но мы можем его получать лишь в определенные моменты времени как, например, в системах телеметрии. Третий вариант получения дискретных сигналов – это равномерная дискретизация во времени исходных аналоговых сигналов согласно теореме Котельникова.

На современном этапе развития измерительных и информационных технологий происходит интенсивный переход на методы и средства, основанные на дискретных косвенных измерениях (ДКИ) пара-

---

<sup>1</sup> **Измеряемые параметры** – физические величины, наилучшим образом отражающие качество изделий или процессов (РМГ 29–99).

метров ЭИС, поскольку данный вид измерений обладает целым рядом преимуществ и играет ключевую роль в повышении качества выпускаемой продукции. Данный вид измерений<sup>1</sup> обладает, по сравнению с непрерывными косвенными измерениями параметров электрических сигналов, следующими преимуществами: малым временем измерения, большей функциональностью, гибкостью и диапазоном, гарантированной точностью и идеальной воспроизводимостью, а также сохранением (в достаточно широких пределах) метрологических характеристик при изменении условий измерений (температуры, влажности, давления и др.). В результате наблюдается постоянное расширение как спектра приложений методов и средств ДКИ параметров ЭИС, так и спектра предметных областей, в которых они применяются. При этом во многих предметных областях временные, частотные и частотно-временные параметры ДЭИС являются основным физическим носителем информации о состоянии исследуемого объекта.

Целью настоящей работы является выявление тенденций развития ДКИ параметров ДЭИС в различных предметных областях, их системный анализ и постановка актуальных задач в данной области измерений, имеющих важное научное и прикладное значение.

### **Тенденции развития дискретных косвенных измерений параметров электрических измерительных сигналов в различных предметных областях**

При ДКИ параметров ДЭИС крайне важно выполнение современных требований к единству и точности измерений, которые играют решающую роль в повышении эффективности разработки, производства и эксплуатации современных изделий и систем. Например, в системах пассивной гидролокации недостаточная точность косвенных измерений параметров электрических гидроакустических сигналов приводит к принятию ошибочных решений при определении принадлежности того или иного объекта к классам: «свой-чужой», что по известным причинам чревато серьезными последствиями. Не менее серьезны последствия необеспечения необходимых метрологических характеристик и в таких предметных областях, как виброакустическое функциональное диагностирование объектов, экологическая безопасность, медицинская компьютерная диагностика, сейсмология.

Системный анализ приложений методов и средств ДКИ параметров ДЭИС позволяет сделать следующие выводы:

---

<sup>1</sup> Вид измерений – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин (РМГ 29–99).

– Во-первых, измерительные приборы<sup>1</sup> ДКИ всегда являются *частью* некоторой измерительной системы<sup>2</sup> (ИС). ИС являются более сложными техническими системами, которые содержат в своем составе подсистемы, функциональные блоки и элементы, отличающиеся по структуре, свойствам, характеру связей и параметрам.

– Во-вторых, совокупность параметров ДЭИС, характеризующих объект измерения, применяемые методы и средства их измерения, требования к функциональным возможностям и метрологическим характеристикам измерительных приборов определяются, прежде всего, задачами, стоящими в целом перед ИС, а также условиями решения этих задач.

Спецификой квазидетерминированных и случайных ДЭИС во многих предметных областях является *конечность интервала измерения* и наличие в их структуре *скрытых периодических и ангармонических сигналов*<sup>3</sup> (скрытых периодичностей и ангармонических периодичностей), измеряемые параметры которых являются основными носителями информации о состоянии исследуемых объектов, свойствах анализируемых явлений и процессов.

Отметим, что данный класс ДЭИС относится к классу сигналов со *смешанной структурой*, измерение параметров которых носит статистический характер и в общей теории измерений практически не рассматривается. Для описания этого класса ДЭИС требуется:

– во-первых, использование не только временной формы, но и частотной и частотно-временной форм представления (включая применение частотных и частотно-временных математических моделей);

– во-вторых, для осуществления измерений параметров ДЭИС смешанной структуры необходима разработка теоретических основ таких измерений во временной, частотной и частотно-временной областях;

– в-третьих, для данного класса ДЭИС требуется разработка соответствующих методов и приборов, обеспечивающих точность, диапа-

---

<sup>1</sup> **Измерительный прибор** – средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне (РМГ 29–99).

<sup>2</sup> **Измерительная система** – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т. п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях (РМГ 29–99).

<sup>3</sup> **Ангармонический сигнал** – периодический сигнал, представляющий собой сумму основного гармонического сигнала (гармонического сигнала наименьшей частоты) и некоторых его гармоник (гармонических сигналов более высоких частот, частоты которых кратны частоте основного гармонического сигнала).

зонность и воспроизводимость измерений, во временной, частотной и частотно-временной областях.

Исходя из этих положений, а также определения понятия области измерений<sup>1</sup>, по мнению авторов настоящей работы, *дискретные косвенные измерения на конечных интервалах* параметров ДЭИС, в силу присущих им специфических свойств и закономерностей, выделяющих их из общей области косвенных измерений, следует рассматривать в рамках отдельной области косвенных измерений. Данную область косвенных измерений на конечных интервалах параметров квазидетерминированных и случайных ДЭИС можно обозначить термином ***область дискретных косвенных измерений***, выделив, таким образом, дискретные косвенные измерения из общей области косвенных методов измерений.

Вводимые в данной работе дискретные косвенные измерения не следует смешивать с непрерывными косвенными измерениями в дискретной форме, которые также широко применяются в практике общей теории измерений. И крайне важно понимать различия указанных двух подходов к косвенным методам измерений, неучет которых приводит к ошибочным научным и практическим выводам относительно метрологических характеристик средств измерений [6].

Рассмотрение спектра приложений дискретных косвенных измерений параметров электрических сигналов выявило следующие характерные тенденции развития данного вида измерений:

- постоянное расширение спектра приложений;
- неуклонное усложнение измерительных задач;
- проведение измерений во временной, частотной и частотно-временной областях;
- проведение измерений на конечных интервалах;
- применение процессорных измерительных средств (ПрИС) и виртуальных измерительных приборов (ВИП);
- включение средств вычислительной техники непосредственно в состав измерительной процедуры, а не только в обработку результатов измерений;
- постоянное повышение требований к функциональным возможностям и метрологическим характеристикам.

Системный анализ выявленных тенденций показал, что расширение сферы приложений данного перспективного вида измерения требует проведения глубоких научных и прикладных исследований в данной

---

<sup>1</sup> **Область измерений** – совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой (РМГ 29–99).

области измерений, разработки теоретических основ данной области измерений. Дальнейшее развитие методов и средств дискретных косвенных измерений параметров электрических сигналов, их совершенствование, основанное на применении современных информационных технологий (цифровых ИТ-технологий), расширение их приложений невозможно без постановки и решения следующих актуальных задач, имеющих важное научное и прикладное значение:

1. Создание научных, технических и нормативно-технических основ дискретных косвенных методов и приборов измерения параметров электрических величин во временной, частотной и частотно-временной областях, обеспечивающих современные требования к единству и точности данных видов измерений.

2. Развитие теоретических основ дискретных косвенных измерений параметров электрических сигналов со скрытыми периодичностями (в том числе со скрытыми ангармоническими периодичностями) и (или) со скрытыми почти периодичностями на конечных интервалах.

3. Разработка новых подходов к косвенным методам и средствам измерений (приборов), обладающих широкими функциональными возможностями и высокими метрологическими характеристиками.

#### Список литературы

1. Пономарев, В. А. Виброакустическое диагностирование коробок передач станков цифровыми методами / В. А. Пономарев, О. В. Пономарева // СТИН. – 1983. – № 9. – С. 18–21.

2. Рангайан, Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / пер. с англ. ; под ред. А. П. Немирко. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440 с.

3. Оппенгейм, Э. Применение цифровой обработки сигналов. – М. : Мир, 1980. – 552 с.

4. Пономарев, В. А. Иерархическая морфологическо-информационная модель системы функционального диагностирования объектов на основе цифровой обработки сигналов / В. А. Пономарев, О. В. Пономарева, А. В. Пономарев // Датчики и системы. – 2014. – № 1(176). – С. 2–8.

5. Пономарева, О. В. Метод быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье действительных последовательностей // Цифровая обработка сигналов. – 2013. – № 2. – С. 10–15.

6. Пономарева, О. В. Цифровой периодограмм-анализ и проблемы его практического применения / О. В. Пономарева, В. А. Алексеев, А. В. Пономарев // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2013. – № 2(58). – С. 130–133.

7. Пономарев, В. А. Инвариантность текущего энергетического фурье-спектра действительных дискретных сигналов на конечных интервалах / В. А. Пономарев, О. В. Пономарева // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2014. – № 1. – С. 15–21.

8. Пономарева, О. В. Повышение точности и расширение функциональных возможностей цифровых фильтров на основе частотной выборки / О. В. Пономарева, Н. В. Пономарева // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2(7). – С. 114–119.

9. Пономарева, О. В. Быстрое параметрическое дискретное преобразование Фурье действительных последовательностей // Цифровая обработка сигналов. – 2012. – № 2. – С. 2–5.

10. Пономарева, О. В. Модификация фильтра на основе частотной выборки для решения задач цифровой обработки случайных процессов со скрытыми периодичностями / О. В. Пономарева, Н. В. Пономарева // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 2(20). – С. 122–129.

11. Алексеев, В. А. Методология определения погрешностей измерения вероятностных характеристик случайных процессов, реализуемых процессорными измерительными средствами / В. А. Алексеев, В. А. Пономарев, О. В. Пономарева // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2. – С. 91–99.

12. Пономарев, В. А. Временные окна при оценке энергетических спектров методом параметрического дискретного преобразования Фурье / В. А. Пономарев, О. В. Пономарева // Автометрия. – 1983. – № 4. – С. 39.

## **Discrete devices for indirect measurements of electric parameter signals**

**Abstract.** *It is shown that the specificity of quasi deterministic and stochastic discrete electrical measuring signals in many subject areas is the finiteness of the measurement interval and the presence in their structure of hidden anharmonic periodic signal, which requires in addition to temporal form frequency and time-frequency representation forms. We introduce the notion of discrete area of indirect measurements, revealed the characteristic tendencies of development of this type of measurement, given their system analysis. We consider the formulation of topical problems in the field of measurements having great scientific and applied importance.*

**Keywords:** discrete indirect measurements, measuring signal, spectrum, measurement conversion, computing transformation, basis set.



*В. А. Стародубцева*, канд. тех. наук, проф.

*А. В. Мельников*, магистрант

E-mail: alexey.mel.v@yandex.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Особенности расчета обращенного асинхронного двигателя**

*Целью данной работы является рассмотрение особенностей проектирования специального обращенного асинхронного двигателя. Выявление особенностей расчета таких двигателей с опорой на методику расчета стандартных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А.*

**Ключевые слова:** обращенный асинхронный двигатель, асинхронный двигатель с внешним ротором, особенности расчета обращенного асинхронного двигателя.

Асинхронные двигатели – наиболее распространенные в промышленных установках электрические машины. Особенно широко они применяются в качестве электродвигателей для электроприводов большинства производственных механизмов и являются основными преобразователями электрической энергии в механическую [1].

Принцип действия асинхронной машины основан на законе электромагнитной индукции, открытом М. Фарадеем, и работах Д. Максвелла и Э. Ленца [2].

Частота вращения ротора всегда отличается от частоты вращения магнитного поля, так как в случае совпадения этих частот вращающееся магнитное поле не будет пересекать обмотку ротора и в ней не индуцирует ЭДС, а следовательно, и не создается вращающий момент.

Таким образом, характерной особенностью асинхронной машины является наличие скольжения, т. е. неравенство частот вращения магнитного поля статора и ротора.

Кроме стандартных асинхронных двигателей в промышленности используются также специальные асинхронные машины, к которым относят: индукционный регулятор напряжения, фазорегулятор, сельсины, асинхронные исполнительные двигатели, линейные асинхронные и обращенные асинхронные двигатели [1].

Из всех специальных асинхронных двигателей именно обращенный асинхронный двигатель является объектом исследования данной работы.

Обращенным называют такой асинхронный двигатель, у которого питание подводится к статору, закрепленному на неподвижном валу, а исполнительный механизм крепится непосредственно к корпусу ротора [3].

Конструкция обращенного электродвигателя (рис. 1) подобна конструкции асинхронного электродвигателя, но главным отличием является то, что ротор электродвигателя расположен снаружи статорной обмотки, а статор с обмотками расположен в центре электродвигателя. Такие конструкции также называют асинхронным двигателем с внешним ротором.

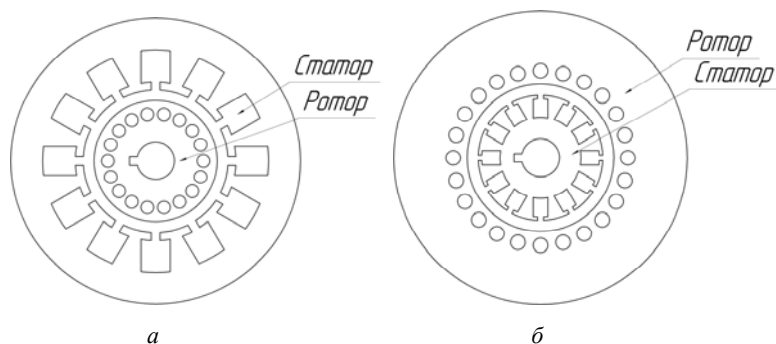


Рис. 1. Геометрия магнитопровода асинхронного двигателя: общепромышленный (а); обращенный (б)

Обращенный асинхронный двигатель состоит из шихтованного сердечника статора, собранного на втулке, которая напрессована на стальную не вращающуюся ось. Внешний ротор состоит из шихтованного сердечника, в пазах которого расположены стержни обмотки, замкнутые с двух сторон кольцами. Наружная поверхность ротора образована ободом, форма которого зависит от назначения двигателя, то есть он может быть колесом, шкивом, роликом или просто массивным элементом – маховиком.

Асинхронные двигатели с внешним ротором применяют в электроинструментах, в рольгангах на металлургических предприятиях (внешний ротор двигателя – это вращающийся ролик рольганга), в качестве двигателя-маховика для привода устройств, требующих равномерного вращения при неравномерной нагрузке на вал.

При расчете активных и индуктивных сопротивлений статора и ротора значительных изменений не происходит.

На рис. 2 приведено условное обозначение диаметров обращенного асинхронного двигателя, где  $D_a$  – внешний диаметр ротора;  $D$  – внутренний диаметр ротора;  $D_2$  – внешний диаметр статора;  $D_j$  – внутренний диаметр статора или диаметр вала.

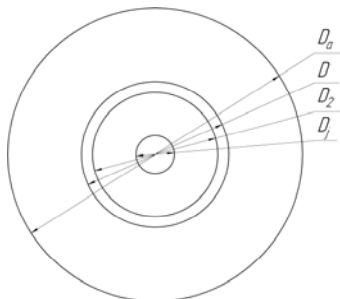


Рис. 2. Условное обозначение диаметров обращенного асинхронного двигателя

Внутренний диаметр ротора обращенного двигателя больше диаметра статора, а значит, формулы для расчета геометрии пазов такого двигателя изменятся.

При расчете геометрии пазов статора необходимо учитывать, что у обращенного двигателя пазы расположены на внешней окружности статора, а у ротора – на внутренней. Теперь зубцам статора с параллельными стенками будут соответствовать пазы, которые сужаются к центру окружности, а не наоборот, как это было у стандартных асинхронных двигателей.

Размеры пазов определяются по значениям необходимых полезных площадей поперечного сечения пазов статора и ротора графическим способом с помощью инструментов программы КОМПАС-3D и допустимой индукции в зубцах.

То же самое изменение касается зубовой зоны ротора: зубцам ротора с параллельными стенками соответствуют пазы, сужающиеся к внутренней поверхности окружности ротора.

При расчете коротко замыкающих колец обмотки ротора необходимо учитывать, что кольцо будет большего диаметра, чем внутренний диаметр ротора.

$$D_{\text{кл.ср}} = D_2 + h_{\text{кл}}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{кл.ср}}$  – средний диаметр замыкающих колец;  $h_{\text{кл}}$  – высота замыкающего кольца;  $D_2$  – внутренний диаметр ротора.

Следующее изменение в расчете – это изменение распределения магнитных силовых линий в магнитной цепи.

$$L_a = \frac{\pi \cdot \left( D_2 - \left( \frac{D_2}{2} - h_{z1} \right) \right)}{2 \cdot p}, \quad (2)$$

где  $h_{z1}$  – высота зубца статора;  $D_2$  – внешний диаметр статора.

Для ротора изменится следующим образом:

$$L_j = \frac{\pi \cdot \left( D_a - \left( \frac{D_a - D}{2} - h_{z2} \right) \right)}{2 \cdot p}, \quad (3)$$

где  $h_{z2}$  – высота зубца ротора;  $D_a$  – внешний диаметр ротора;  $D$  – внутренний диаметр ротора.

Поскольку трехфазная обмотка статора располагается на внешней окружности, а не на внутренней, следует учесть, что лобовые части будут иметь меньший диаметр, чем у обычного асинхронного двигателя. Расчет средней ширины катушки также изменится:

$$b_{\text{кт}} = \frac{\pi \cdot (D_2 - h_{п1})}{2 \cdot p}, \quad (4)$$

где  $h_{п1}$  – высота зубца статора;  $D_2$  – внешний диаметр статора.

### Заключение

Произвести расчет обращенного асинхронного двигателя можно, опираясь на расчет общепромышленного асинхронного двигателя. Для этого необходимо вносить изменения в формулы, которые представляют собой отличительные особенности обычного асинхронного от двигателя с внешним ротором.

### Список литературы

1. *Стародубцева, В. А.* Расчет и проектирование электрических машин. Асинхронные машины : учеб. пособие для вузов. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2005. – 352 с.
2. *Вольдек, А. И.* Электрические машины. – Л. : Энергия, 1978. – 832 с.
3. ГОСТ 19523–74 Двигатели трехфазные асинхронные короткозамкнутые серии 4А мощностью от 0,06 до 400 кВт. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 44 с.

## **Features of calculation of a converted induction motor**

**Abstract.** *The purpose of this paper is to consider the special features of the design the induction motor. Identify the features of the calculation of such engines, based on the methodology for calculating the standard asynchronous squirrel-cage motors 4A series.*

**Keywords:** Reversed asynchronous motor, asynchronous motor with external rotor, in particular the calculation of the induction motor is addressed.

*В. А. Стародубцева*, канд. тех. наук, проф.

*М. О. Шкляев*, магистрант

E-mail: shklyev.maks2013@yandex.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Влияние геометрической формы сердечника на распределение магнитного потока в трансформаторе**

*В данной статье приведено распределение магнитного потока в магнитопроводах различной геометрической формы. Приведены 3D-модели однофазных трансформаторов в программе COMSOL Multiphysics 4.4 с разной геометрической формой сердечника. Разработаны мероприятия по повышению коэффициента полезного действия трансформатора.*

**Ключевые слова:** COMSOL Multiphysics 4.4, моделирование, Ш-образный трансформатор, исследование физических процессов, КПД, рассеяние магнитного потока.

Принцип действия трансформаторов и электрических машин основан на взаимодействии магнитных полей, которые обычно распространяются по магнитопроводу. Магнитное поле вызывает потери на перемагничивание сердечника и вихревые токи, которые в свою очередь влияют на КПД. Также на величину КПД влияют потоки рассеяния, которые замыкаются вне магнитопровода трансформатора. Для уменьшения потерь необходимо исследовать распределение магнитного поля, найти места наиболее большого рассеяния и по возможности ликвидировать данные участки [1].

Для решения этой задачи используется программа COMSOL Multiphysics 4.4 [2]. При моделировании принимается упрощенная модель однофазного Ш-образного трансформатора с неизменными габаритами. Моделирование производим при частоте 50 Гц. Результатами моделирования являются 3D-модели и разрез по средней линии трансформатора.

На рис. 1 приведена 3D-модель трансформатора при частоте 50 Гц, из которой видно, что наиболее сильно насыщенным является магнитопровод в местах соединения стержня с ярмом, слабонасыщенными являются углы магнитопровода и ярмо, примыкающее к стержню.

На рис. 2 приведена 3D-модель трансформатора, у которого все внешние и внутренние прямые углы сглажены. В результате чего мы получим распределение магнитного потока в магнитопроводе, по форме напоминающего сжатое кольцо. Насыщение магнитного потока становится более однородным, хотя места наибольшего и наименьшего насыщения остаются практически такими, как и у магнитопровода без сглаживания углов.

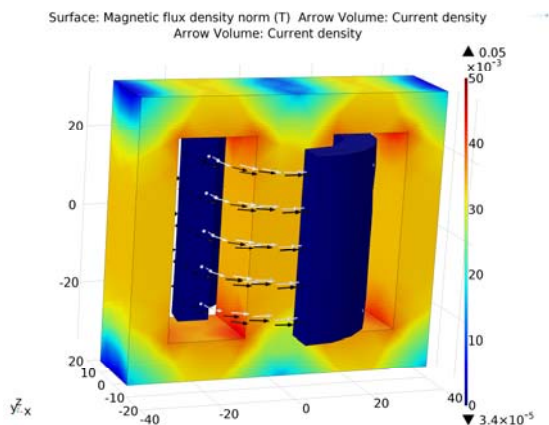


Рис. 1. Распределение магнитного потока в сердечнике трансформатора прямоугольной формы

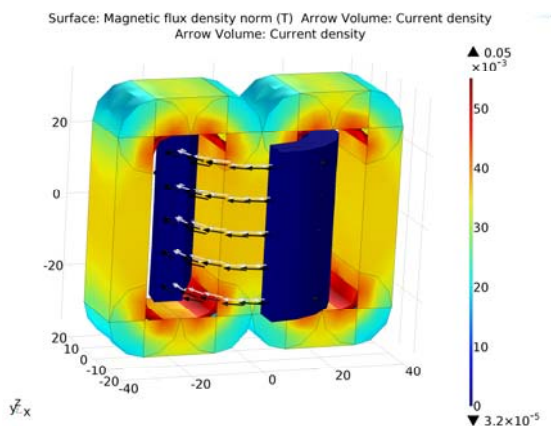


Рис. 2. Распределение магнитного потока в магнитопроводе при сглаживании углов

Картину распределения магнитных силовых линий более наглядно можно получить, промоделировав сечение по средней линии трансформатора (рис. 3 и 4).

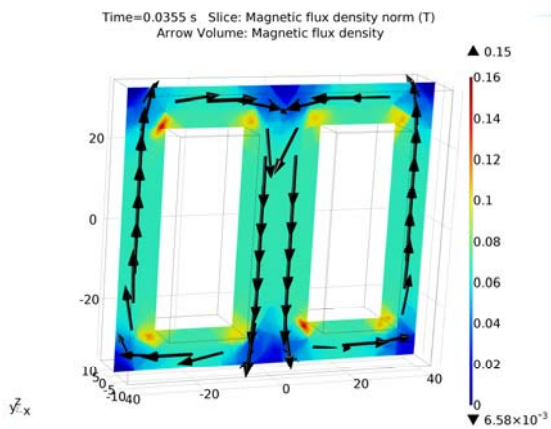


Рис. 3. Распределение магнитного потока в сечении сердечника трансформатора прямоугольной формы

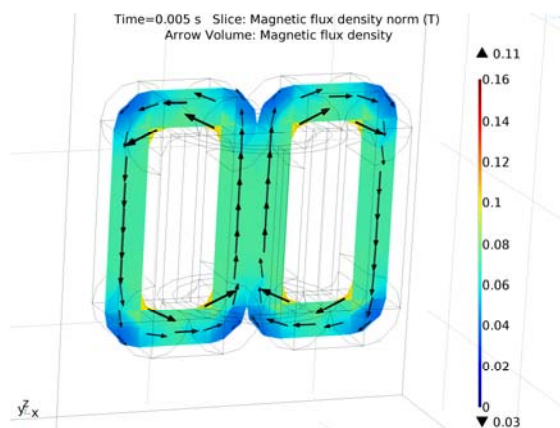


Рис. 4. Распределение магнитного потока в сечении магнитопровода при сглаживании углов

Благодаря сглаживанию, удастся экономить на стали магнитопровода и повысить КПД трансформатора. Также учитывая, что зоны пикового насыщения исчезают, можно увеличить мощность трансформатора, или уменьшить его габариты при той же мощности [3].



Благодаря потокам рассеяния трансформатор способен сам «защитаться» от токов короткого замыкания. Однако кроме пользы рассеяние приносит и ощутимый вред трансформатору. Во-первых, падение напряжения на индуктивном сопротивлении снижает вторичное напряжение. Следовательно, чем больше рассеяние, тем меньше мощность, получаемая приемниками энергии. Во-вторых, потоки рассеяния замыкаются не только по воздуху, но и по металлическим деталям конструкции трансформатора, создавая в них вихревые токи и потери на перемагничивание (в стальных деталях). Эти так называемые добавочные потери в конструкции крайне нежелательны, так как увеличивают общую сумму потерь и снижают КПД трансформатора (рис. 5 и 6).

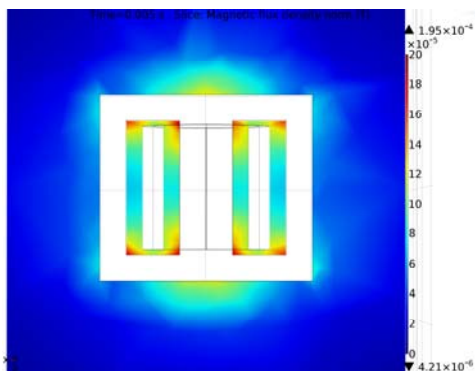


Рис. 5. Распределение магнитного потока рассеяния в воздушном пространстве для модели магнитопровода прямоугольной формы

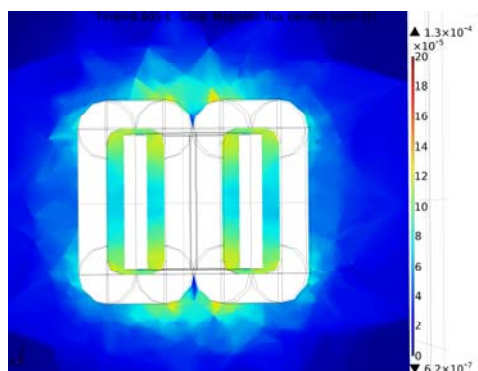


Рис. 6. Распределение магнитного потока рассеяния в воздушном пространстве для модели магнитопровода со сглаживанием углов

Таким образом, с одной стороны, потоки рассеяния полезны, так как ограничивают токи короткого замыкания и препятствуют разрушению трансформатора, а с другой стороны, они наносят ощутимый вред, уменьшая отдачу полезной мощности в сеть и увеличивая потери трансформатора.

### **Заключение**

Изменяя геометрическую форму трансформатора, а именно сглаживая углы, можно получить более равномерное насыщение магнитопровода. Поскольку в данном случае мы избавляемся от мест высокого насыщения, можно повысить мощность трансформатора или уменьшить его размеры при прежней мощности.

Можно добиться уменьшения потерь трансформатора на рассеяние магнитного потока, в случае если изменить геометрическую форму сердечника трансформатора, для решения этой задачи также подойдет сглаживание углов магнитопровода.

### **Список литературы**

1. Тихомиров, П. М. Расчет трансформатора : учеб. для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
2. COMSOL Multiphysics [Сайт]. – URL: <https://www.comsol.ru/> (дата обращения: 26.10.2015).
3. Шкляев, М. О. Перспективы использования компьютерной программы COMSOL Multiphysics 4.4 для исследования магнитных полей [Электронный ресурс] / М. О. Шкляев, В. А. Стародубцева // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : сб. мат. III Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 22–23 апреля 2015 г.). – Ижевск : ИННОВА, 2015. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23400151> (дата обращения: 26.10.2015).

## **The influence of the geometric shape of the core at the distribution of the magnetic flux in the transformer**

**Abstract.** *In this article distribution of a magnetic flux is given in magnetic conductors of various geometrical forms. 3D models of single-phase transformers with a different geometrical form of the core are given in the COMSOL Multiphysics 4.4 program. Actions for increase of efficiency of the transformer are developed.*

**Keywords:** COMSOL Multiphysics 4.4, modeling, E-core transformer, research of physical processes, efficiency, dispersion of a magnetic flux.

*И. В. Штенников*, канд. техн. наук, доц.

*Е. Н. Алексеев*, магистрант

*А. В. Туров*, бакалавр

E-mail: [aleks-jane111@mail.ru](mailto:aleks-jane111@mail.ru)

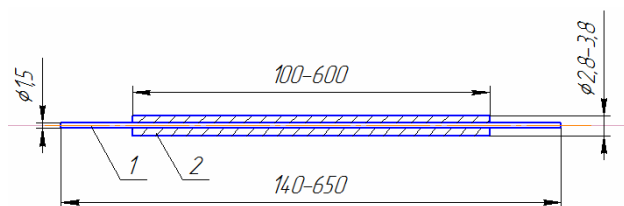
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Анализ методов измерения электрического сопротивления проволочного испарителя хрома

*Рассмотрены методы измерения электрического сопротивления резисторов и проводников. Для измерения сопротивления проволочного резистивного испарителя хрома выбран метод амперметра-вольтметра, с помощью которого определено его сопротивление.*

**Ключевые слова:** электрическое сопротивление, измерения, резистивный испаритель.

Порошковый испаритель хрома [1] применяют для нанесения защитных покрытий на внутренних поверхностях полых деталей с малым диаметром отверстия 7,5–25 мм при помощи резистивного нагрева [2–4]. Испаритель изготавливается из вольфрамовой проволоки диаметром 1,5 мм, покрытой слоем испаряемого материала, хрома, сформированного методом порошковой металлургии [1]. Устройство испарителя показано на рис. 1.



*Рис. 1.* Проволочный испаритель хрома:  
1 – вольфрамовая проволока; 2 – порошковый слой хрома

Испаритель для нанесения покрытия включается в электрическую цепь и разогревается проходящим электрическим током. Важным

электрическим параметром испарителя является его электрическое сопротивление.

Для измерения электрического сопротивления материалов, работающих в цепях электрического тока, используют следующие методы:

- 1) измерение сопротивления на постоянном токе;
- 2) измерение больших сопротивлений;
- 3) измерение сопротивления на переменном токе.

К методам измерения сопротивления постоянному току относят метод амперметра-вольтметра (косвенный метод), метод непосредственной оценки и мостовой метод.

**Метод амперметра-вольтметра.** Измеряется ток, который протекает по контролируемому сопротивлению, и падение напряжения на нем. По результатам измерений определяют величину сопротивления. Данный метод позволяет производить измерения по двум схемам в зависимости от ожидаемой величины измеряемого сопротивления. Чтобы измерить сопротивление большой величины, используют схему, изображенную на рис. 2, а, а малой величины – на рис. 2, б.

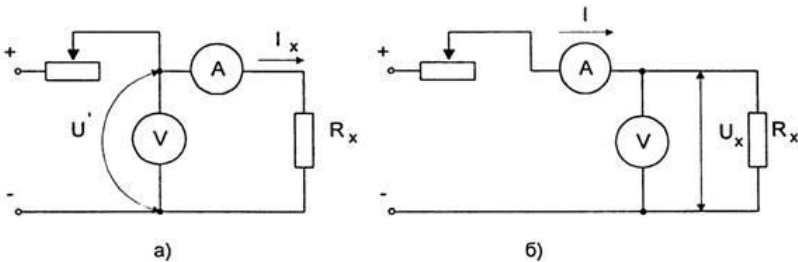


Рис. 2. Схема измерения больших сопротивлений (а) и малых (б)

При использовании первой схемы измерения (рис. 2, а) рассчитываются величина сопротивления и относительная погрешность измерения по следующим формулам:

$$R'_x = \frac{U'}{I_x} = \frac{U_x + U_a}{I_x} = R_x + R_a, \quad (1)$$

$$\delta = \frac{R_a}{R_x}, \quad (2)$$

где  $R'_x$  – измеряемое сопротивление, а  $R_a$  – сопротивление амперметра.

При использовании второй схемы (рис. 2, б) величину сопротивления и относительную погрешность измерения определяют по выражениям:

$$R'_x = \frac{U_x}{I} = \frac{U_x}{I_x + I_B} = \frac{R_x}{1 + \frac{R_x}{R_B}}, \quad (3)$$

$$\delta = -\frac{R_x}{R_B + R_x}. \quad (4)$$

Из приведенных уравнений видно, что при подсчете искомого сопротивления возникает погрешность. Она вызвана тем, что при измерении токов и напряжений во второй схеме через вольтметр проходит некоторая часть тока, которую амперметр также учитывает, а в первой схеме вольтметр измеряет напряжение не только на резисторе, но и на амперметре.

Согласно вышеприведенным формулам (2), (4) можно сделать вывод, что при использовании первой схемы (рис. 2, а) обеспечивается меньшая погрешность при измерении больших сопротивлений, при использовании второй схемы (рис. 2, б) – при измерении малых. Погрешность измерения данным методом определяется из уравнения

$$\delta_R = \gamma_B \cdot \frac{U_{\Pi}}{U_X} + \gamma_a \cdot \frac{I_{\Pi}}{I_X}, \quad (5)$$

где  $\gamma_B, \gamma_a$  – классы точности вольтметра и амперметра;  $U_{\Pi}, I_{\Pi}$  – пределы измерения вольтметра и амперметра.

Преимуществом данного метода измерения является то, что по измеряемому сопротивлению можно пропускать ток той же величины, что и в условиях его эксплуатации. Это является важным обстоятельством при измерении сопротивлений, значения которых зависят от тока [6].

**Метод непосредственной оценки.** Для измерения данным методом используется омметр.

Определение сопротивления омметром имеет существенные неточности из-за влияния переходного сопротивления в точках подключения. По этой причине этот метод применяют для приближенных предварительных измерений сопротивлений и для проверки цепей коммутации [7].

**Мостовой метод.** Для измерения сопротивления на постоянном токе широко используются одинарные мосты. Также используются

двойные мосты, которые по сравнению с одинарными имеют меньшие погрешности из-за более высокой чувствительности [7].

Для измерения больших сопротивлений используют метод непосредственного отклонения и потенциометрический метод [8], которые не пригодны для проведения измерений сопротивления резистивного проволочного испарителя. Также не представляют интереса методы измерения сопротивления на переменном токе – измерители иммитанса и измерительные линии, которые предназначены для определения параметров полного сопротивления или полной проводимости электрической цепи переменного тока и исследования распределения электрического поля вдоль СВЧ-линии передачи [9, 10].

Из рассмотренных методов измерения электрического сопротивления материалов для измерения сопротивления проволочного испарителя хрома выбран и использован метод амперметра-вольтметра. Этот метод позволяет производить измерения сопротивления испарителя при пропуске через него тока той же величины, что и в условиях его эксплуатации.

Для выбора схемы измерения метода амперметра-вольтметра произведен расчет электрического сопротивления вольфрамовой проволоки, являющейся основой проволочного испарителя, диаметром 1,5 мм и длиной 165 мм по известному удельному сопротивлению вольфрама при 20 °С ( $\rho_w = 0,55 \cdot 10^{-6}$  Ом·м). Ее сопротивление составило 5,13 МОм.

Поскольку полученное значение сопротивления данной проволоки мало, то следует ожидать, что сопротивление испарителя в целом также будет невелико. Поэтому для измерения его сопротивления выбрана схема амперметра-вольтметра, применяемая для измерения малых сопротивлений (рис. 2, б).

Для оценки величины электрического сопротивления порошкового испарителя хрома измерялся испаритель с порошковым слоем наружного диаметра 3,4 мм, длиной 145 мм и вольфрамовой проволокой диаметра 1,5 мм, длиной 190 мм.

Схема измерения представлена на рис. 3. В качестве источника тока использован стабилизатор тока и напряжения ТЕС 21 КТР15.5, в качестве вольтметра – В7-16А. Амперметр функционально встроен в стабилизатор ТЕС 21 КТР15.5.

При помощи клемм испаритель подключался к стабилизатору тока, параллельно испарителю подключался вольтметр. При измерении сопротивления стабилизатор ТЕС 21 устанавливался в режиме стабилизации тока величиной 5 А.

Среднее значение падения напряжения составило  $U_{cp} = 25$  мВ.

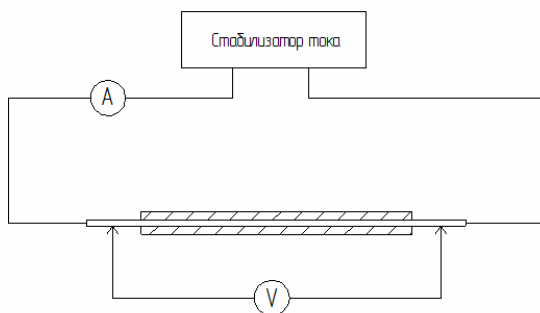


Рис. 3. Схема измерения сопротивления проволочного испарителя хрома

По результатам измерения сопротивление исследуемого проволочного порошкового испарителя хрома при 20 °С составило:

$$R = \frac{U_{\text{ср}}}{I} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{5} = 5 \text{ мОм.} \quad (6)$$

### Выводы

Для исследования электрического сопротивления проволочного испарителя хрома целесообразно использовать метод амперметра-вольтметра, позволяющий измерять малые сопротивления и пропускать через испаритель тот же ток, как и в условии его работы.

Измерено значение электрического сопротивления проволочного испарителя хрома наружным диаметром порошкового слоя – 3,4 мм; диаметром вольфрамовой проволоки 1,5 мм; длиной порошкового слоя хрома – 145 мм и длиной вольфрамовой проволоки – 190 мм при 20 °С, величина которого составила 5 мОм.

### Список литературы

1. Сидоренко, В. И. Порошковые испарители для получения покрытий на внутренней поверхности детали / В. И. Сидоренко, И. В. Штенников, Л. В. Черемисинова // Ученые Ижевского механического института – производству : тезисы научных докладов. – Ижевск : ИМИ, 1992. – Т. 1. – С. 62.
2. Совершенствование технологии вакуумного хромирования полых изделий / В. И. Сидоренко, И. В. Штенников, Ю. А. Поскребышев, С. А. Семенов // Ученые Ижевского механического института – производству : тезисы научных докладов. – Ижевск : ИМИ, 1990. – С. 61.

3. Сидоренко, В. И. Исследование вакуумных конденсаторов хрома / В. И. Сидоренко, И. В. Штенников // Моделирование технических систем и технологий : сб. научных статей. – Ижевск : ИЖГТУ, 1996. – С. 97–99.
4. Сидоренко, В. И. Конусообразные кристаллиты в структуре хромовых покрытий / В. И. Сидоренко, И. В. Штенников // Прибостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : труды науч.-техн. конф. – Ижевск : Изд. дом «Удмуртский университет», 2001. – С. 48–52.
5. ГОСТ 21342.20–78. Резисторы. Методы измерения сопротивления. – М. : Ордена «Знак почета» Изд-во стандартов, 1985. – 48 с.
6. Измерение сопротивления проводника методом вольтметра-амперметра : метод. указ. к лаб. работе / Р. Я. Евсеева, Т. П. Мясникова, В. Г. Кузнецов. – Ростов н/Д : ГОУ ВПО «Южный федеральный университет», 2007. – 12 с.
7. Дивин, А. Г. Методы и средства измерений, испытаний и контроля / А. Г. Дивин, С. В. Пономарев. – Тамбов : Полиграфический центр ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 104 с.
8. Грибанов, Ю. И. Измерение слабых токов, зарядов и больших сопротивлений. – М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1962. – 80 с.
9. ГОСТ 25242–93. Измерители параметров иммитанса цифровые. Общие технические требования. Методы испытаний. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1993. – 28 с.
10. Кузнецов, В. А. Измерения в электронике. Справочник. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 510 с.

### **Analysis of the methods of measurement of electrical resistance wire chromium evaporator**

**Abstract.** *The methods of measuring the electrical resistance of resistors and conductors. To measure the resistance of the resistive wire of the evaporator is selected chromium-voltmeter ammeter method, by which the resistance is determined.*

**Keywords:** electrical resistance, measurement, resistive evaporator.



*И. В. Штенников*, канд. техн. наук, доц.

*А. В. Игнатьев*, магистрант

*Д. П. Четкарёв*, магистрант

E-mail: igallex@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Анализ работы источника питания резистивного испарителя с фазоимпульсным управлением**

*Проведено моделирование в среде NI Multisim работы однофазного источника питания резистивного испарителя с фазоимпульсным управлением при изменении мощности нагрузочного устройства от 0 до 100 %. Установлено, что в диапазоне от 10 до 100 % мощности источник работает устойчиво, а при мощности менее 10 % его работа неустойчива. Рассмотрены причины нестабильной работы источника питания и предложены возможные способы решения проблемы.*

**Ключевые слова:** источник питания, фазоимпульсное управление, резистивный испаритель, регулирование мощности, тиристорный выпрямитель.

Однофазные управляемые источники питания широко применяются в промышленности благодаря ряду достоинств: низкой стоимости, высокому КПД и надежности устройства. В таких источниках питания чаще всего используется принцип фазоимпульсного управления тиристорными или симисторными выпрямителями напряжения [1–2]. Но практика применения показывает, что при регулировании мощности в нижних пределах они не обеспечивают стабильную работу нагрузочного устройства.

Для питания и управления работой резистивных испарителей, применяемых в технологических процессах нанесения покрытий термическим испарением в вакууме [3–5], широко используются тиристорные источники питания с фазоимпульсным управлением [2]. Структурная схема такого устройства представлена на рис. 1.

Питание источника осуществляется от сети переменного тока промышленной частоты. В состав источника питания входят: силовой блок (СБ), который является тиристорным выпрямителем с фазоимпульсным управлением, блок управления тиристорами (БУТ), включающий в себя генератор пилообразных импульсов (ГПС) и схему

формирования управляющих импульсов (ФИУ), поступающих на управляющий электрод тиристора. Напряжение с выхода силового блока через силовой трансформатор (Т) подается на нагрузочное устройство (Н).

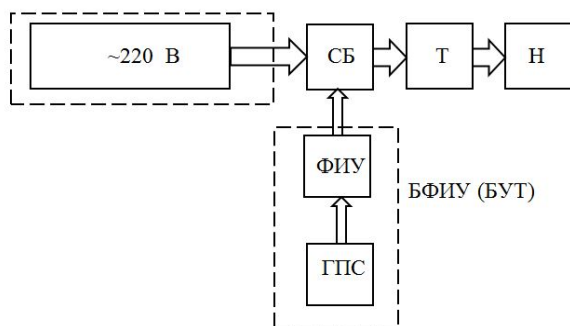


Рис. 1. Структурная схема однофазного источника питания

При управлении мощностью резистивного испарителя хрома выявлена невозможность плавного регулирования мощности источника питания в некоторых режимах работы.

Источник питания резистивного испарителя хрома имеет следующие технические характеристики:

1. Выходная мощность: 2000 Вт.
2. Ток и напряжение на выходе: 400 А при 5 В, 200 А при 10 В.
3. Параметры питающей электросети: сеть переменного тока промышленной частоты, напряжение 220 В.

Источник работает на нагрузку – проволочный испаритель хрома [5], сопротивление которого невелико, порядка 5–15 мОм, и увеличивается с ростом температуры.

Для выяснения причин нестабильности работы резистивного испарителя проведено моделирование его типового источника питания с фазоимпульсным управлением в программной среде NI Multisim, используя реальные модели электронных компонентов. Рассмотренная схема управления построена с использованием синхронизированного с сетью генератора пилообразных импульсов. При моделировании мощность источника питания регулировалась в пределах от 0 до 100 % путем изменения угла отпираания тиристора.

В результате моделирования определено, что при изменении мощности в диапазоне от 10 до 100 % наблюдается устойчивый режим ра-

боты источника. На рис. 2 приведены результаты моделирования схемы для мощности, равной 25 %. Работа источника питания устойчива.

При снижении мощности ниже 10 % работа источника питания становится неустойчивой, появляются скачки напряжения на выходе силового блока, это видно на графика, приведенного на рис. 3.

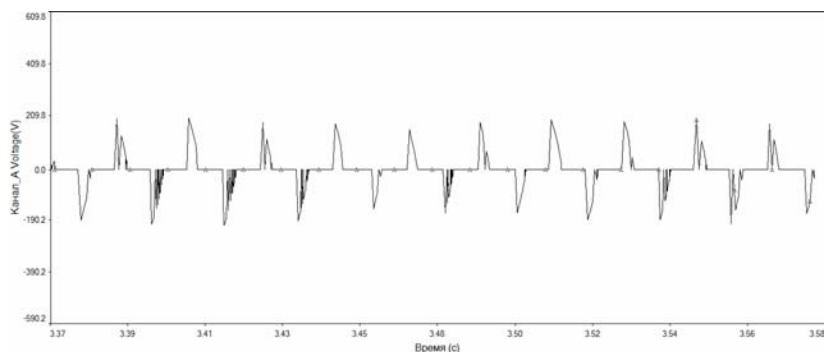


Рис. 2. Напряжение при мощности 25 %

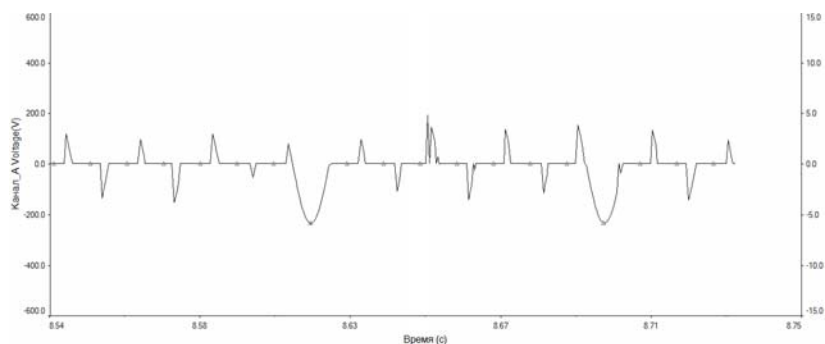


Рис. 3. Напряжение при мощности 7 %

Для того чтобы определить причину нестабильной работы источника питания, снята осциллограмма формы напряжения на выходе генератора пилообразного напряжения при мощности 7 %, рис. 4.

Нестабильность сигнала поступающего на управляющий электрод тиристора при мощности нагрузочного устройства 7 % изображена на рис. 5. На графике видно искажение управляющего сигнала. Происходит ложное открывание тиристора, что приводит к скачкам напряжения на нагрузочном устройстве.

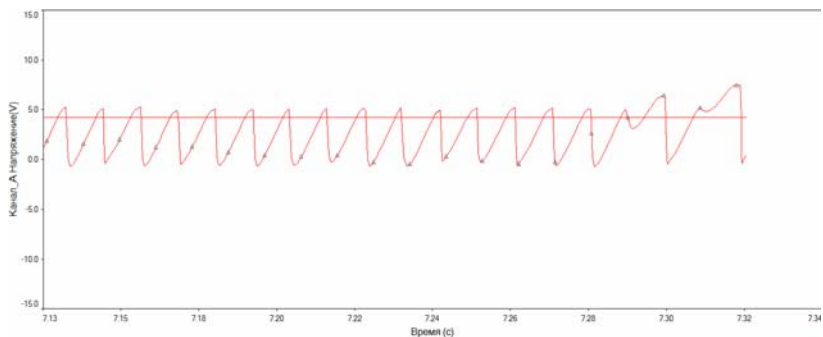


Рис. 4. Работа генератора пилообразного напряжения при мощности 7 %

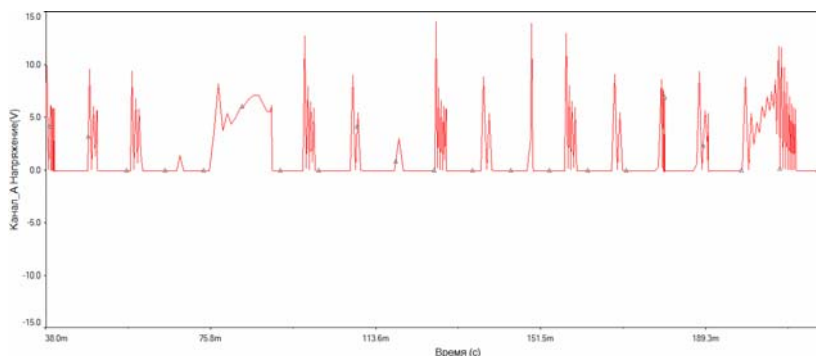


Рис. 5. Нестабильность управляющего сигнала при мощности 7 %

В результате моделирования определено, что плавное регулирование в рассмотренной схеме осуществляется в диапазоне от 10 до 100 % мощности нагрузочного устройства. В околонулевых значениях, ниже 10 % мощности, из-за несовершенства схемы генератора пилы на дискретных элементах происходит ложное открывание тиристора и пропускание целых полупериодов сетевого напряжения, что не позволяет плавно управлять работой резистивного испарителя. Возможным решением этой проблемы может стать схема с регулированием по току, применение модулей с IGBT-транзисторами или применение источников питания с микропроцессорным управлением.

#### Список литературы

1. Горбачев, Г. Н. Промышленная электроника / Г. Н. Горбачев, Е. Е. Чаплыгин. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 386 с.

2. Штенников, И. В. Разработка источника питания резистивного испарителя / И. В. Штенников, Д. П. Четкарёв // Сб. мат. X Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 12–14 ноября 2014 г.). – Ижевск : ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – С. 339–342.

3. Сидоренко, В. И. Совершенствование технологии вакуумного хромирования полых изделий / В. И. Сидоренко, И. В. Штенников, Ю. А. Поскрёбышев, С. А. Семёнов // Ученые Ижевского механического института – производство : тезисы научных докладов. – Ижевск : ИМИ, 1990. – С. 60.

4. Сидоренко, В. И. Новая технология нанесения покрытия на деталь Сб0-6 производства «ИЖМАШ» / В. И. Сидоренко, И. В. Штенников, А. С. Макаров, Е. А. Учанева // Итоги исследований и совершенствование технологии изготовления осесимметричных деталей методами обработки металлов давлением : тезисы докладов Межотраслевой НТК 15–16 октября 1991. – Ижевск : Дом научно-технической пропаганды, 1992. – С. 22–23.

5. Сидоренко, В. И. Порошковые испарители для получения покрытий на внутренней поверхности детали / В. И. Сидоренко, И. В. Штенников, Л. В. Черемисинова // Ученые Ижевского механического института – производство : тезисы научных докладов. – Ижевск : ИМИ, 1992. – Т. 1. – С. 62.

## **Analysis of the power source resistive evaporator with pulse-phase control**

**Abstract.** *The simulation environment of NI Multisim operation of single-phase power source resistive evaporator with phase-pulse resonant control. When the power load device from 0 to 100 %. It is established that the power source is stable in the range from 10 to 100 % power, with a power less than 10 % of it is work that is unstable. The reasons of unstable operation of the power source and suggest possible ways of solution.*

**Keywords:** power source, pulse-phase control, the resistive evaporator, the power regulation, thyristor rectifier.

*А. А. Штин*, канд. техн. наук, доц.

E-mail: shtin\_a\_a@mail.ru

*П. Е. Безруков*, студент

E-mail: geerfog@gmail.com

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Исследование влияния частоты на выходное напряжение выпрямителей со сглаживающими фильтрами**

*Рассматривается влияние частоты на параметры выходного напряжения выпрямителя с индуктивно-емкостным фильтром. Установлено, что в однополупериодной схеме выпрямления пульсации могут достигать значительных величин. Более того, выходное напряжение выпрямителя может даже менять полярность.*

**Ключевые слова:** выпрямитель, сглаживание, фильтр.

Для преобразования электрической энергии переменного тока в электрическую энергию постоянного тока чаще всего приходится использовать выпрямители, которые в литературе обычно называются источниками вторичного электропитания. Неотъемлемой частью выпрямительных устройств являются сглаживающие фильтры, которые служат для уменьшения пульсаций выходного напряжения [1].

В индуктивно-емкостных сглаживающих фильтрах могут возникать резонансные явления, которые обычно не возникают при постоянной частоте выпрямляемого напряжения. Однако сглаживающие фильтры также используются в импульсных источниках питания, в которых частота выпрямляемого напряжения может сильно меняться в зависимости от режима работы.

Поэтому основной целью исследования явилось влияние частоты входного напряжения на работу выпрямителя с индуктивно-емкостным сглаживающим фильтром.

Исследование проводилось экспериментально и посредством компьютерного моделирования с помощью программы Multisim [2].

Для экспериментального исследования была собрана установка с однополупериодным выпрямителем, схема которой показана на рис. 1.

Заметим, что в настоящее время однополупериодные выпрямители широко используются в импульсных источниках питания [3].

Параметры индуктивности и конденсаторов выбраны такими, чтобы резонанс в цепи возникал на частоте, близкой к 50 Гц. Следует заметить, что оксидные конденсаторы имеют значительное допустимое отклонение емкости (ряды номинальных значений Е3 и Е6), поэтому для получения нужной емкости С1 и С2 включены последовательно.

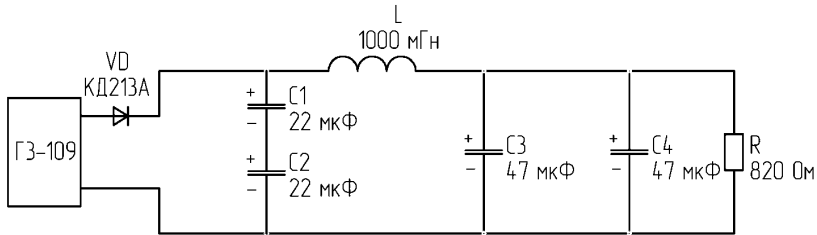


Рис. 1. Принципиальная схема установки

Была снята зависимость выходного напряжения от частоты питающего напряжения (переменная  $U_{\sim}$  и постоянная  $U_{-}$  составляющие), также проверено влияние изменения параметров фильтра (емкость, индуктивность) на величины этих составляющих. Графики зависимостей  $U_{\sim}$  и  $U_{-}$  от частоты входного напряжения  $f$  представлены на рис. 2.

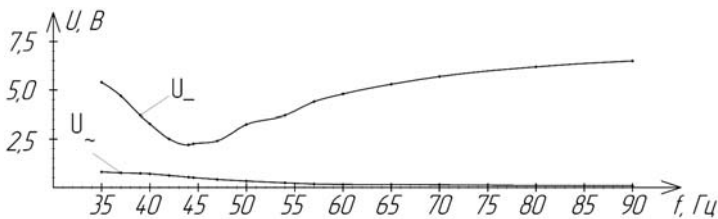


Рис. 2. Зависимости переменной и постоянной составляющих выходного напряжения от частоты в схеме на рис. 1

Результаты, полученные в ходе эксперимента, очень интересны. Постоянная составляющая выходного напряжения выпрямителя сильно уменьшается в полосе частот 40...50 Гц и достигает своего минимального значения  $U_{-} = 2,2$  В при частоте  $f = 44$  Гц. Более того, на этой частоте мгновенное значение напряжения на определенном временном

интервале принимает даже отрицательные значения, а форма напряжения близка к синусоидальной.

Осциллограмма выходного напряжения для частоты  $f = 44$  Гц показана на рис. 3.

Для моделирования выпрямителя на рис. 1 в программе Multisim была составлена аналогичная схема, показанная на рис. 4. Мультиметр ХММ1 измеряет постоянную составляющую, а мультиметр ХММ2 – переменную составляющую выходного сигнала.

Результаты, полученные в ходе моделирования, близки к данным, снятым при исследовании практической схемы.

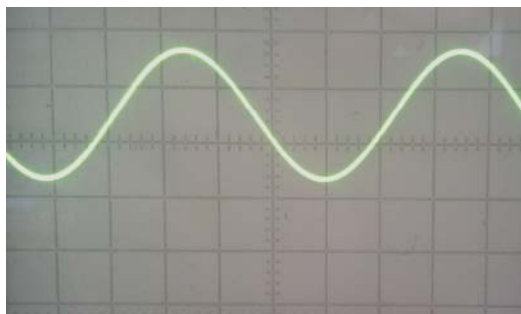


Рис. 3. Осциллограмма выходного напряжения в схеме на рис. 1 для  $f = 44$  Гц

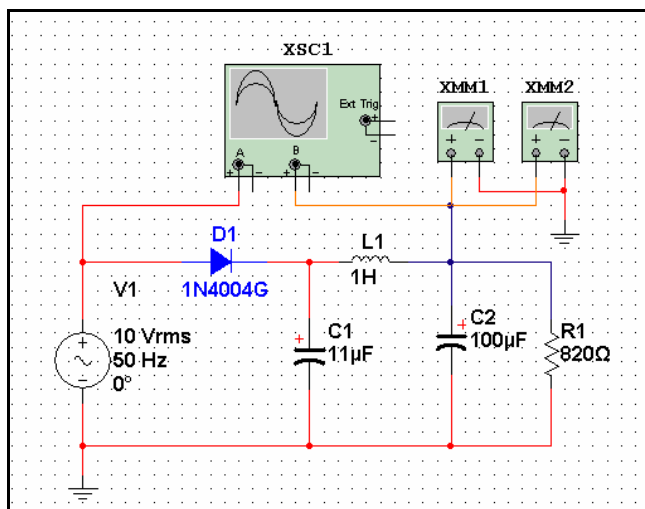


Рис. 4. Модель выпрямителя с LC-фильтром



В частности, на рис. 5 показаны показания приборов XMM1, XMM2 и XSC1 для частоты  $f = 50$  Гц. Видно, что выходное напряжение (синусоида с меньшей амплитудой), как и в реальной схеме, на определенных интервалах принимает отрицательные значения.

Постоянная составляющая выходного напряжения выпрямителя сильно снижается в полосе частот  $f = 48...60$  Гц и достигает своего минимального значения при частоте  $f = 53$  Гц. График изменения напряжения представлен на рис. 6.

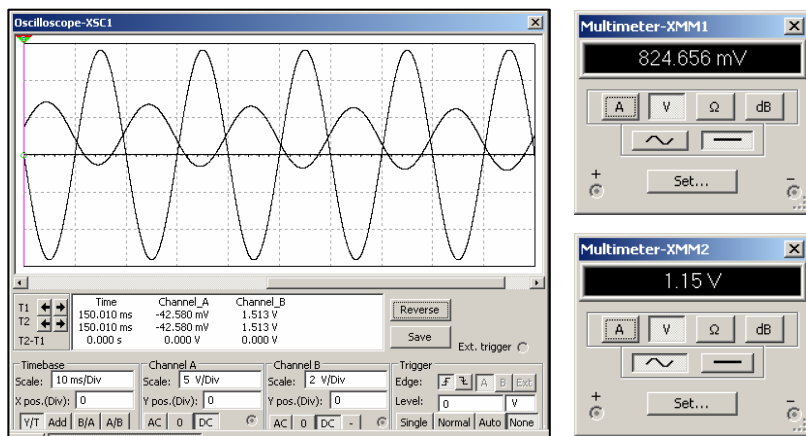


Рис. 5. Показания приборов в схеме Multisim

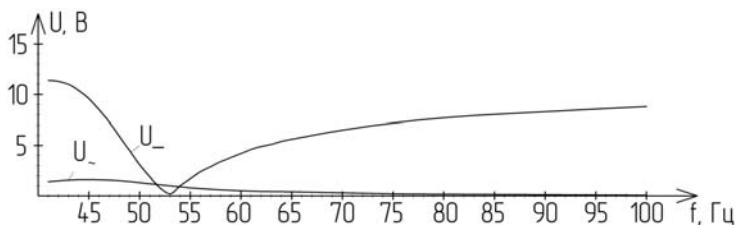


Рис. 6. Зависимости переменной и постоянной составляющих выходного напряжения от частоты в модели на рис. 4

Для двухполупериодного выпрямителя как в реальной схеме, так и при моделировании, подобного явления не наблюдалось. Изменение частоты входного напряжения или параметров фильтра слабо сказывалось на выходном напряжении. Предположительно, это можно объяс-

нить тем, наличие открытых диодов в обоих полупериодах не дает развиваться колебательному переходному процессу.

В результате исследований получен следующий результат. При проектировании устройств с однополупериодными выпрямителями следует указать на необходимость проверки соответствия параметров сглаживающего фильтра диапазону частот выпрямляемого напряжения.

### Список литературы

1. Электротехника и электроника : учебник для вузов / Г. П. Гаев, В. Г. Герасимов, О. М. Князьков и др. – В 3 кн. – Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники / под ред. проф. В. Г. Герасимова. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 432 с.
2. Шестеркин, А. Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10. – М. : ДМК Пресс, 2012. – 360 с.
3. Мэк, Р. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / пер. с англ. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 272 с.

## Investigation of the effect on the frequency of the output voltage of the rectifier with smoothing filters

**Abstract.** *The influence of the frequency parameters of the output voltage of the rectifier with LC filters. It was found that the half-wave rectifier circuit can reach considerable ripple-enforcement units. Moreover, the output voltage of the rectifier can even change the polarity.*

**Keywords:** rectifier, smoothing, filter.

## Секция 4. Информационные технологии в радиотехнике и связи

УДК 004.021

R. Bustami, Magister Student  
E-mail: ridho.bustami@gmail.com  
Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

### Research and Development of the Encryption Algorithm in Specific Area of Digital Image

*Protecting our information data from third party such as data confidentiality is one aim of cryptography system. Therefore in this paper, we show the technique of encryption algorithm for digital image, which we suggest only important specific area should be encrypted. Simulated program which describe the technique of cropping, rearranging, encrypting and decrypting selected important image. We used two symmetric block cryptography algorithm: Data Encryption Standard and Gosudarstvenny Standard ГОСТ 28147-89. Then we show how we are simulating this technique in graphic interface user. Then we give a conclusion about comparison between DES and ГОСТ 28147-89 algorithm and also effectiveness of encryption algorithm in specific area of digital image.*

**Keywords:** cryptography system, symmetric block, digital image, Data Encryption Standard, ГОСТ 28147-89, GOST 28147-89.

#### Introduction

Taking photographs with mobile phone and saving in the cloud system are nowadays become very common and there are various attacks present behind this. In these types of various attacks, the servers is not be secure and also negligence of people. Cloud system is very common use because speed of internet also increased and the system of mobile phone also get advance like I-phone and android. Because of that, many multimedia was developed in mobile phone beside the games, peoples usually use their mobile phone for taking picture and video.

And also selfie is becoming popular trend that peoples take their selves picture with own mobile phone. Along with that side of that, the camera system also was developed, especially for increasing pixel. The one of reason we need to increase pixel, because we also want to our digital image

good for look and sharp and also it's still good if we look in the another media, like personal computer even for printing.

Recently actress Hollywood have got a problem like that, when the think I-cloud which created by Apple.inc has secure system, they save their photos in the I-cloud which connect automatically with their mobile phone [1–2]. And after that hackers crack the apple system, and they separated Hollywood actress photos which kind of privacy for some people. After the photos leaked, they can do nothing with that, just some kind law of punishment they can do that, but they can't bring back their photos.

Actually, we will get some like of problem, if our mobile phone was lost and some people who steal of find it will be take our data. We can do anything with that. Indeed, our mobile phone has password protecting, but it's not enough because unresponsive people still can access our data via memory card. We can't be negligence or just believe at this problem, we also have to have awareness with our data.

Another reason not only photos but also in our document. Because nowadays we very massive use digital image in many aspect. We often scan or make some photo in our document. We often don't care about security if we have important or private document which probably abuse with unknown people.

### **Method of Cryptography**

So here introduces a method how we protect our data especially digital image. And one of method for protecting our data is cryptography, beside my research at 2007 [6], I encrypt and also decrypt digital image every pixels, but I got some conclusion that it's not quite efficient because of time processing. The time processing isn't quite fast because the system has to encrypt every pixels in every layers of image. Especially now, the growth of pixels increase because of camera system at mobile phone also become better and better.

A method that we want present is encrypting half pixels in image which only important. Actually many how we recognize which pixels important or not important, but in this paper we just use selected method manually, which means user will decide which area is important and after that the pixels which important will be encrypted. Because usually in the image, not all the pixels area is important, we have some background which usually we don't need to make secret in this area. Based on this idea, we hope we can reduce time processing for encrypting and decrypting image.

Cryptography block encryption algorithm that we use is Data Encryption Standard DES [3] and *gosudarstvenny* standard ГОСТ [5]. We hope that we can get a secure system that can protect our digital images data.

## Experiment

In experiment we can divide into 4 general step:

- 1) Grabbing and selecting pixels from image.
- 2) Preparing selected image to encryption block.
- 3) Collecting and placing into original image.
- 4) Encryption and decryption block.

Table. 1. Comparison of result between DES and GOCT in experiment

| Algorithm  | DES                     | GOCT                    |                |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------|
| Encryption Time (in seconds)<br>(33×73 Pixels, 24 bit depth) | 124.7029                | 183.2866                | Relative, DES  |
| Decryption Time (in seconds)<br>(33×73 Pixels, 24 bit depth) | 244.5134                | 371.2706                | Relative, DES  |
| Brute-force attack (in years)                                | $2.7935 \times 10^{11}$ | $5.0882 \times 10^{81}$ | Absolute, GOCT |
| Difference between encrypted and original pixels             | 100 %                   | 100 %                   | Equals         |
| Dispersion   | $3.406 \times 10^{07}$  | $2.69 \times 10^{07}$   | Relative, GOCT |
| Avalance effect (changed in text)                            | 45.3125 %               | 59.3750 %               | Relative, DES  |
| Avalance effect (changed in key)                             | 51.5625 %               | 53.1250 %               | Relative, DES  |

## Simulation

In this simulation, we use Matlab 2012 programming language for this design. Beside of that, created graphical user interface which make easier for people who use this simulation. At the first step, we select the area, which mean important and encrypting area was cropped. After encrypting process, area replaced into original image. And we see that image has already encrypted in specific area. In Decrypting process, actually beside the key for decrypting the system need to know information, which place that already encrypted. And decrypted area will be replaced again like in encryption process.

## Conclusions

Algorithm in specific area in digital image can be improved speed more than all pixel was encrypted. Bit padding for input encryption block, we can use 3 alternative (ignore, send separately, using steganography). For defending brute force attack GOST algorithm better that DES because GOST has 256 bits key length compare DES has only 56 bits key length. Both of them (GOST and DES) still have relatively worst time processing (half an hour) for digital image. It's become still problem if we implemented in mobile phone programming. In decryption process, besides key we need zero padding, position and size selected image.

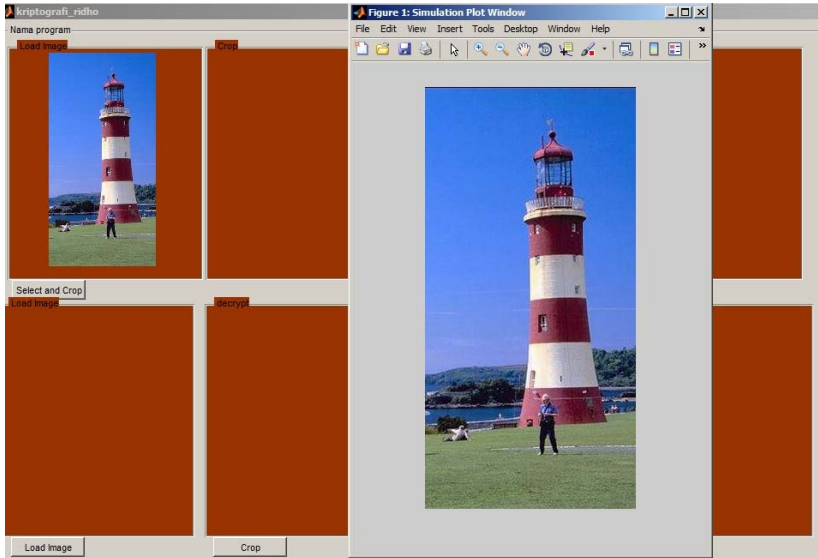


Fig. 1. Selecting and cropping picture

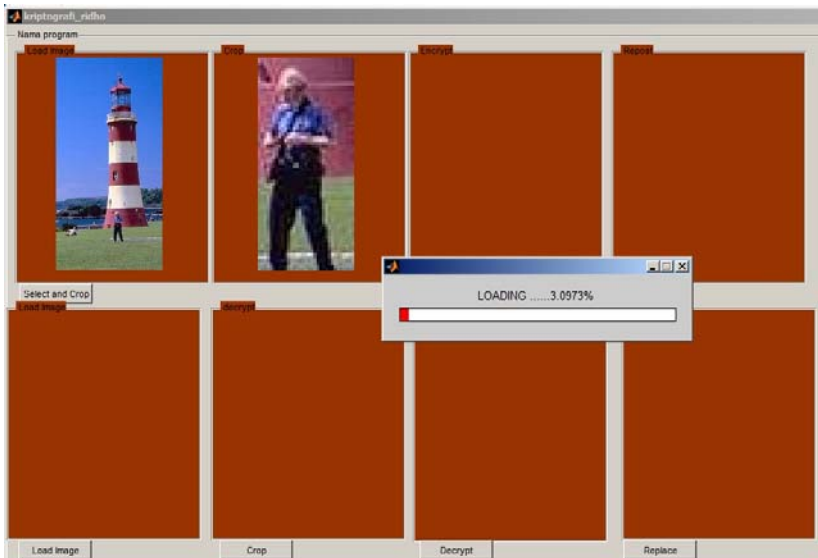


Fig. 2. Encrypting process

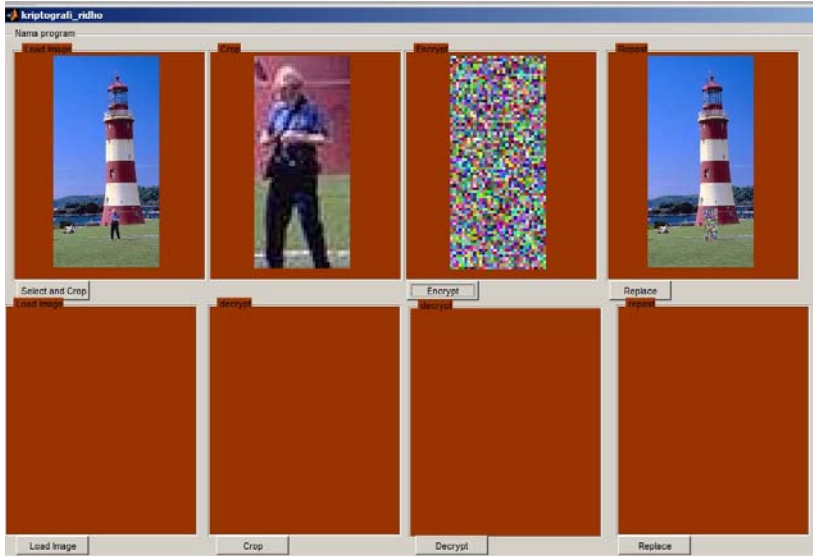


Fig. 3. Result of encrypting process

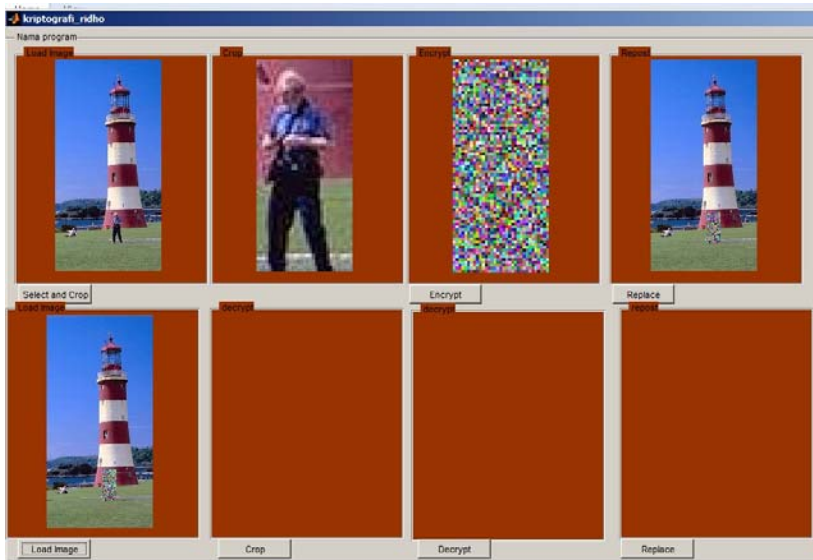


Fig. 4. Loading Encrypted image

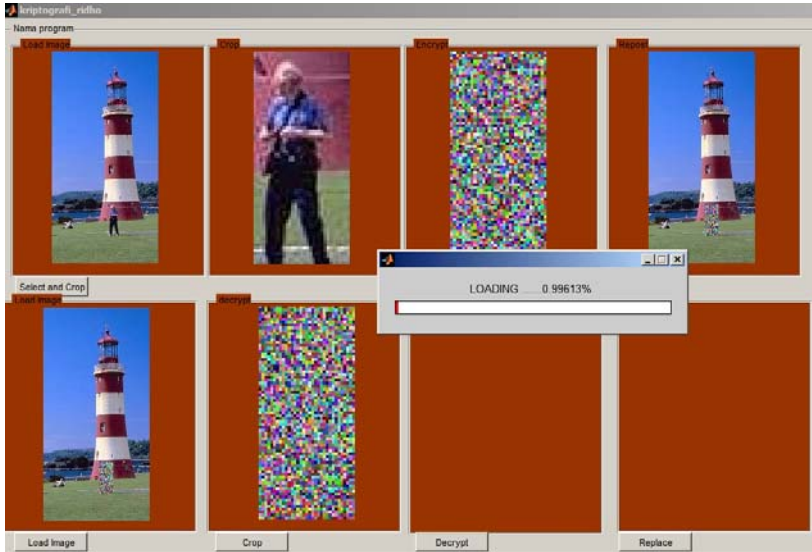


Fig. 5. Decrypting process

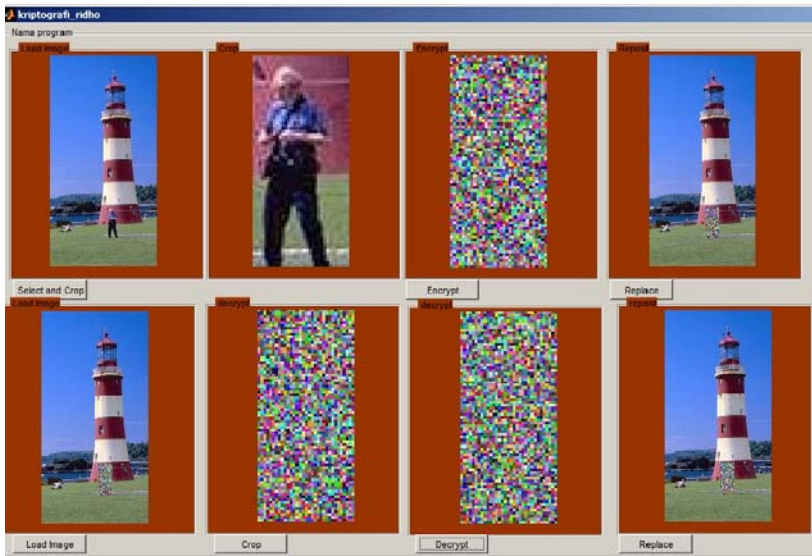


Fig. 6. Result decrypting process



## References

1. *Cooper, G.* Jennifer Lawrence nude photos leak: the risks of cloud storage. – URL: <http://www.telegraph.co.uk/technology/technology-video/11067666/Jennifer-Lawrence-nude-photos-leak-the-risks-of-cloud-storage.html> (retrieved: September 22, 2014).
2. *Ensor, J.* Nude Jennifer Lawrence photos leaked by hacker who claims to have 'private pictures of 100 A-listers'. – URL: <http://www.telegraph.co.uk/news/celebritynews/11067182/Nude-Jennifer-Lawrence-photos-leaked-by-hacker-who-claims-to-have-private-pictures-of-100-A-listers.html> (retrieved: December 1, 2014).
3. Federal Information Processing Standards Publication 46-3. Digital Encryption Standard (DES). – U.S. Department of Commerce / National Institute of Standards and Technology, 1999.
4. *Schneier, B.* Applied Cryptography, 2<sup>nd</sup> Edition. – New York : Wiley, 1996.
5. ГОСТ 28147-89 Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996.
6. *Bustami, R.* “Simulasi Algoritma Simetrik, Asimetrik, dan SHA-1 Untuk Sistem Kriptografi Hybrid Pada Data Berupa Text, Image dan Speech”, STT Telkom Bandung, 2007 [in Indonesian].

*Л. Д. Ахатова*, студентка

E-mail: ahatovaliliya95@gmail.com

*А. П. Караваева*, студентка

E-mail: pavl.anna.pavl@gmail.com

*М. М. Емельянова*, ст. преподаватель

E-mail: mariya.m.pavlova@mail.ru

*В. Н. Емельянов*, канд. техн. наук, доц.

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Особенности организации и перспективы муниципального Wi-Fi**

*С каждым днем растет количество людей, для которых важно на протяжении длительного времени иметь доступ в Интернет и находиться онлайн. Покрытие территории города мобильными операторами не всегда равномерно, и на разных участках уровень 3G/4G-сигнала того или иного оператора может значительно отличаться. Решить проблему предлагается с помощью Wi-Fi-сетей со сплошным покрытием территории города – муниципальным Wi-Fi.*

**Ключевые слова:** Wi-Fi, точка доступа, оператор связи, муниципальный, сплошное покрытие.

В настоящее время использование сетей Wi-Fi не только дома, но и за его пределами приобретает все большую популярность. Около 70 % интернет-пользователей подключаются к сети Wi-Fi в общественных местах примерно 5–6 раз в неделю, чтобы найти нужную информацию, зайти в социальные сети, проверить электронную почту, узнать свежие новости или посмотреть прогноз погоды [1].

Высокая востребованность общественного Wi-Fi подтверждается собственной статистикой «Дом.ru». Запустив в 2011 году федеральный проект «Городской Wi-Fi», к осени 2013 года компания организовала в 56 городах беспроводной доступ в Интернет в 4750 точках. В августе в точках «Дом.ru Wi-Fi» зарегистрировано около 11 млн подключений и более 2,5 млн уникальных пользователей [1].

Количество людей, для которых важно на протяжении длительного периода времени иметь доступ в Интернет и находиться онлайн, растет с каждым днем. Покрытие территории города мобильными оператора-

ми не всегда равномерно, и на разных участках уровень сигнала мобильного Интернета того или иного оператора может значительно отличаться. Для решения этой проблемы возможна смена способа подключения абонентов с 3G/4G на Wi-Fi. При этом важным параметром является то, что скорость передачи данных по Wi-Fi может значительно превышать, скорость сети 3G/4G. Например, стандартная точка доступа с 8 антеннами, работающая по стандарту 802.11ac, может раздавать сигнал со скоростью около 7 Гбит/с, тогда как 4G может обеспечить скорость загрузки всего лишь до 326,4 Мбит/с. Также использование модуля LTE приводит к большему энергопотреблению мобильных устройств по сравнению с модулем Wi-Fi [2, 3]. Кроме того, ослабление уровня сигнала приводит к ухудшению качества передачи данных. При этом возрастает доля потерянных пакетов, восстановление которых часто осуществляется с помощью различных известных методов, например коррекция потерь с запросом повторной передачи ARQ [4-8] и прямая коррекция потерь пакетов FEC [9, 10].

Для организации муниципального Wi-Fi и полного покрытия определенной территории города можно рассмотреть несколько вариантов:

- 1) использовать некоторое количество базовых станций, которые будут взаимодействовать друг с другом по радиоканалу и передавать сигнал точкам доступа Wi-Fi, раздающим сигнал конечным абонентам;
- 2) возможна установка нескольких беспроводных маршрутизаторов, которые будут взаимодействовать друг с другом и использоваться в качестве точек доступа Wi-Fi для подключаемых абонентов.

Базовые станции или беспроводные маршрутизаторы в проектируемой сети можно подключать к уже существующим узлам связи операторов связи с помощью оптического кабеля, а для крепления конечных устройств использовать опоры линий электропередач, городского освещения и иные городские сооружения (рис. 1).



Рис. 1. Пример расположения точки доступа в общественном месте

Количество конечных точек доступа будет зависеть от наличия препятствий на пути распространения радиоволн: здания, растительность, сооружения и уровня помех от внешних источников. Точки доступа используемые для организации муниципального Wi-Fi, должны обеспечивать высокую пропускную способность и возможность одновременного обслуживания большого количества абонентов. Поэтому в сети должны использоваться внешние точки доступа типа «Outdoor», которые имеют более высокие значения мощностных параметров. Для усиления сигнала Wi-Fi можно использовать определенные методы [11]. Пример распространения радиосигнала, смоделированный в программе Wi-Fi Planner PRO при использовании точкой доступа DAP-3662 и внешней антенны ANT24-0800, приведен на рис. 2.

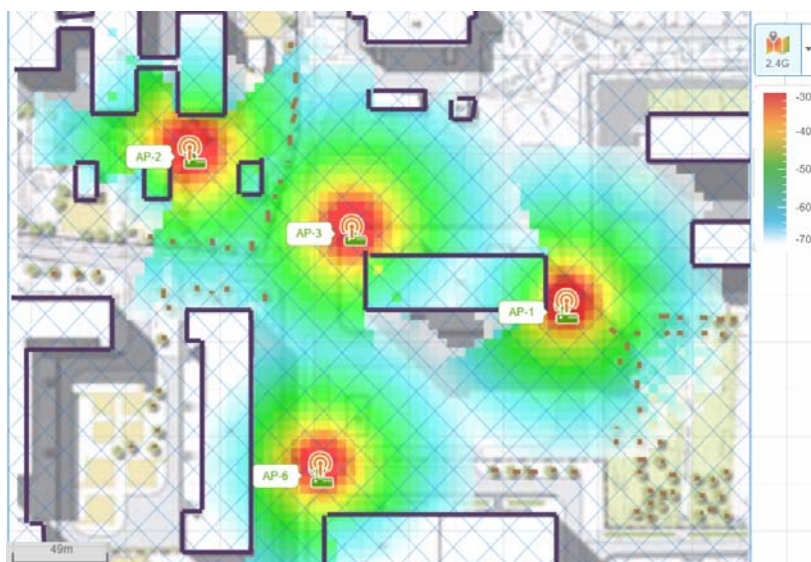


Рис. 2. Пример распространения сигнала Wi-Fi в условиях плотной застройки

Радиуса действия точки доступа Wi-Fi рассчитывается как [12]:

$$D = 10^{\frac{FSL - L_{\text{дБ}} - 33}{20} - \log F}, \quad (1)$$

где  $FSL$  – потери в свободном пространстве, дБ;  $L_{\text{дБ}}$  – потери на трассе, дБ;  $F$  – центральная частота канала связи, МГц.

$FSL$  определяются из параметров используемого оборудования [6] и составляют 89 дБ, потери на трассе примем 5 дБ, а центральная час-

тота первого канала связи диапазона 2,4 ГГц равна 2412 МГц. С этими условиями радиус действия сети составляет:

$$D = 10^{\frac{89-5-33}{20} \cdot \log 2412} = 0,47 \text{ км} = 147 \text{ м.}$$

При указанных исходных данных на 1 км<sup>2</sup> потребуется 15 точек доступа. Выбранная точка доступа DAP-3662 поддерживает стандарт 802.11ac и обеспечивает скорость передачи данных до 866 Мбит/с [13]. Очевидно, что устанавливать точки доступа требуется в тех местах, где будут находиться потенциальные пользователи.

Принцип построения сети муниципального Wi-Fi может основываться на технологии Wireless Mesh – «ячеистые сети». При ее использовании все точки доступа образуют единую сеть с полным покрытием требуемой территории. В случае если точка доступа, к которой подключается устройство, перегружена, данные будут перенаправляться к ближайшему незагруженному узлу. Для обеспечения непрерывного соединения при переходе от одной точки доступа к другой требуется использование точек доступа с поддержкой функции «бесшовный роуминг».

В соответствии с законом № 97-ФЗ от 5 мая 2014 года «О внесении изменений в Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» в обязательном порядке, пользователи должны подключаться к публичному Wi-Fi только после прохождения идентификации [14]. Постановления Правительства РФ № 758 от 31 июля 2014 года и № 801 от 12 августа 2014 разрешили операторам связи для идентификации использовать не только паспорт, номер мобильного телефона пользователя, но и данных Единой системы идентификации и аутентификации (ЕСИА) или с использованием логина и пароля от Единого портала госуслуг. В связи с этим при подключении к муниципальному Wi-Fi возможна идентификация пользователя путем одновременного ввода одного из этих параметров. Для этого, например, потребуется подключиться к сети муниципального Wi-Fi, открыть браузер и заполнить регистрационную форму на открывшемся сайте оператора. В дальнейшем система запомнит номер устройства, и идентификация будет проходить автоматически. Также, например, возможна предварительная регистрация абонента на сайте оператора связи, после чего ему будет предоставлен логин и пароль для последующих подключений к сети.

При реализации проекта возникнут такие затраты, как закупка оборудования, его монтаж и установка, разрешение от ГКРЧ и СЭС на ввод оборудования в эксплуатацию, восстановление, ремонт и обслу-

живание данного оборудования по мере необходимости. Таким образом, внедрять и обслуживать муниципальный Wi-Fi дорого, поэтому предоставлять его бесплатно не выгодно никакому оператору связи. Для окупаемости проекта и получения прибыли возможно использование следующих вариантов:

- 1) Материальная поддержка проекта государством.
- 2) Предоставлять Wi-Fi бесплатно, но при этом абоненты часто будут видеть всплывающую рекламу, владельцы которой будут оплачивать ее оператору связи.
- 3) Оптимально ввести определенную абонентскую плату за пользование услугой, стоимость которой будет ниже, чем пользование мобильным интернетом. Оплату возможно производить по желанию абонента – либо услуга с безлимитным использованием и определенной платой каждый месяц или за определенный период, либо за потраченный трафик сразу будут вычитаться деньги со счета абонента. Также возможна тарификация, которая будет регламентировать работу того или иного приложения (протокола), требуемую скорость или объем трафика, разрешенного для скачивания.

Ввод определенной абонентской платы является самым перспективным вариантом, т. к. поддержка проекта государством маловероятна, пользователи не будут видеть навязчивую рекламу, а каждый абонент сможет сам решить, когда и в каких объемах он будет пользоваться предложенной услугой.

Для реализации проекта и внедрения муниципального Wi-Fi со сплошным покрытием потребуется большое количество точек доступа и значительные капитальные вложения. Реализация же муниципального Wi-Fi точно позволит обеспечить покрытие тех территорий, где плохо работает мобильная связь и нет технической возможности подключения к кабельному Интернету.

#### Список литературы

1. *Иванов, М.* Около 70 % интернет-пользователей использует публичный Wi-Fi [Электронный ресурс] // C-News [Сайт]. – Дата размещения: 03.10.2013. – URL: [http://www.cnews.ru/news/line/okolo\\_70\\_internetpolzovatelej\\_ispolzuet/](http://www.cnews.ru/news/line/okolo_70_internetpolzovatelej_ispolzuet/) (дата обращения: 17.11.2015).
2. *Павлова, М. М.* Математическая модель передачи потоковых данных прикладного уровня по беспроводным каналам связи / М. М. Павлова, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7. – № 11. – С. 142–146.
3. *Pavlova, M., Mengyarov, O.* “Research characteristics of QoS for WLAN in condition of mobile nodes,” in Proceedings of the 4<sup>th</sup> Forum of Young Researchers in the Framework of International Forum “Education Quality – 2014” (Izhevsk,

Russia, April, 2014), pp. 403–405. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/271825871\\_Research\\_characteristics\\_of\\_QoS\\_for\\_WLA\\_in\\_condition\\_of\\_mobile\\_nodes](https://www.researchgate.net/publication/271825871_Research_characteristics_of_QoS_for_WLA_in_condition_of_mobile_nodes) (retrieved: 05.06.2016).

4. *Павлова, М. М.* Оценка эффективности алгоритма ARQ при передаче потоковых данных в WLAN / М. М. Павлова, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 141–145.

5. *Чунаев, А. В.* Влияние характеристик передачи потоковых данных на качество видео в WLAN / А. В. Чунаев, А. В. Абилов, А. И. Нистюк // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 219–224.

6. *Васильев, Д. С.* Экспериментальное исследование качества передачи видео в древовидной P2P сети с алгоритмом ARQ прикладного уровня / Д. С. Васильев, А. В. Чунаев, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Т. 8. – № 1. – С. 10–14.

7. *Абилов, А. В.* Повышение качества передачи потоковых данных в сетях БПЛА с помощью PULL-PUSH-подхода / А. В. Абилов, Д. С. Васильев // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т. 12. – № 4. – С. 45–50.

8. *Чунаев, А. В.* Алгоритм AL-ARQ для потоковой доставки видеоданных в беспроводной локальной сети / А. В. Чунаев, А. В. Абилов, М. М. Павлова // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13. – № 1. – С. 68–73.

9. *Емельянов, В. Н.* Применение адаптивных алгоритмов управления с использованием временного окна для передачи потоковых данных / В. Н. Емельянов, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 85–90.

10. *Ревило, О. А.* Алгоритмы оценки потерь пакетов с адаптацией по выборке для сетей передачи потоковых данных / О. А. Ревило, В. Н. Емельянов, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 161–164.

11. *Спиридонова, П. А.* Усиление сигнала сети Wi-Fi / П. А. Спиридонова, М. М. Павлова // Приборостроение в XXI веке – 2014. Интеграция науки, образования и производства : сб. мат. X Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2015 – С. 447–451.

12. Беспроводные сети Wi-Fi: учеб. пособие/ А. В. Пролетарский, И. В. Баскаков и др. – М. : Интуит; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 215 с.

13. DAP-3662 [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании D-link. – URL: <http://www.dlink.ru/ru/products/2/2027.html> (дата обращения: 21.11.2015).

14. Федеральный закон от 05.05.2014 N 97-ФЗ (ред. от 21.07.2014) «О внесении изменений в Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам упорядочения обмена информацией с использованием информационно-телекоммуникационных сетей [Электронный ресурс] // «Консультант плюс». – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 21.11.2015).

## **Features of the organization and the prospects for municipal Wi-Fi**

**Abstract.** *Every day grows a number of people for whom it is important to have access to the Internet for a long time. Territory covering by mobile operators is not always equal, and in different places level of 3G/4G signal of an operator can vary significantly. To solve the problem is offered to use Wi-Fi networks with continuous coverage in the city – municipal Wi-Fi.*

**Keywords:** Wi-Fi, access point, telecommunications operator, municipal, continuous roaming.



Л. И. Ахметшина, магистрант  
В. Б. Гитлин, д-р техн. наук, проф.  
E-mail: vgb\_istu@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Лабораторные работы по изучению дискретного косинусного преобразования

*В работе предложена структура выполнения лабораторных работ по изучению дискретного косинусного преобразования. Приведены результаты экспериментов, подтверждающих обоснованность предложенной структуры.*

**Ключевые слова:** дискретное косинусное преобразование, компрессия сигнала, дискретное преобразование Фурье.

Дискретное косинусное преобразование (ДКП) является вариантом дискретного преобразования Фурье (ДПФ) [1–2]. Вариант дискретного косинусного преобразования, обозначаемый как ДКП-II, позволяет уменьшить по ширине спектр преобразованного ДКП-II сигнала по сравнению со спектром, полученным с помощью ДПФ [1–2]. Благодаря этому свойству ДКП-II нашел широкое применение в системах связи, позволяющему выполнить сжатие спектра сигнала при передаче его по каналу связи, в системах запоминания и обработки аудио- и видеоинформации и в ряде других применений [4–5]. Дискретное косинусное преобразование так же, как и дискретное синусное преобразование, имеет ряд существенных особенностей и отличий от ДПФ [1–2], что требует их изучения студентами в дисциплинах, связанных с цифровой обработкой сигналов.

Известно [3], что применение преобразования Фурье к четной по времени функции  $f(t)$  приводит к разложению этой функции по косинусам. Конечная дискретная последовательность всегда может быть дополнена до четной во времени последовательности, что позволяет применить к ней ДКП вместо ДПФ. В зависимости от разновидности дополнения до четной последовательности различают восемь видов ДКП: от ДКП-I до ДКП-VIII [1–2]. Дополнение до нечетной последовательности, соответственно, дает восемь вариантов дискретного синусного преобразования (ДСП) [1–2].

Различные варианты ДКП и ДСП отличаются друг от друга и от преобразования Фурье видом спектра получаемого после преобразования.

В общем виде ДКП может быть записано следующим образом [1]:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\varphi_k^*(n), \quad (1)$$

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k)\varphi_k(n), \quad (2)$$

где выражение (1) – прямое ДКП, а (2) – обратное ДКП;  $\varphi_k(n)$  – базисная функция преобразования;  $n = 0, 1, \dots, N-1$ ,  $N$  – длина конечной последовательности;  $k = 1, 2, \dots, N-1$  – номер отсчета спектра;  $x(n)$  – отсчеты нормированной конечной последовательности с периодом дискретизации  $T = 1$ ;  $X(k)$  – отсчеты спектра, полученные с помощью ДКП. Особенностью ДКП является то, что  $x(n)$  и  $X(k)$  действительные последовательности. Базисные функции восьми видов ДКП (I–VIII) имеют вид [2]:

$$(C_N^I)_{lk} = \gamma_k \gamma_l \sqrt{\frac{2}{N-1}} \cos\left(kl \frac{\pi}{N-1}\right), \quad k, l = 0, 1, \dots, N-1, \quad (3)$$

$$(C_N^{II})_{lk} = \sqrt{\frac{2}{N}} \sigma_k \cos\left[\left(l + \frac{1}{2}\right) \frac{k\pi}{N}\right], \quad k, l = 0, 1, \dots, N-1, \quad (4)$$

$$(C_N^{III})_{lk} = \sqrt{\frac{2}{N}} \sigma_k \cos\left[\left(l + \frac{1}{2}\right) \frac{k\pi}{N}\right], \quad k, l = 0, 1, \dots, N-1, \quad (5)$$

$$(C_N^{IV})_{lk} = \sqrt{\frac{2}{N}} \cos\left[\left(l + \frac{1}{2}\right) \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\pi}{N}\right], \quad l, k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (6)$$

$$(C_N^V)_{lk} = \sqrt{\frac{2}{2N-1}} \sigma_l \sigma_k \cos\left[kl \left(\frac{2\pi}{2N-1}\right)\right], \quad l, k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (7)$$

$$(C_N^{VI})_{lk} = \sqrt{\frac{2}{2N-1}} \sigma_k \varepsilon_l \cos\left[\left(l + \frac{1}{2}\right) k \frac{2\pi}{2N-1}\right], \quad l, k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (8)$$

$$\left(C_N^{\text{VII}}\right)_{lk} = \sqrt{\frac{2}{2N-1}} \varepsilon_k \sigma_l \cos \left[ l \left( k + \frac{1}{2} \right) \frac{2\pi}{2N-1} \right], \quad l, k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (9)$$

$$\left(C_N^{\text{VIII}}\right)_{lk} = \sqrt{\frac{2}{2N+1}} \cos \left[ \left( l + \frac{1}{2} \right) \left( k + \frac{1}{2} \right) \frac{2\pi}{2N+1} \right], \quad l, k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (10)$$

На лабораторных работах, посвященных дискретному косинусному преобразованию, должны быть, на наш взгляд, изучены теоретические основы и экспериментально исследованы следующие вопросы:

1) Вид собственных функций различных дискретных косинусных преобразований (от типа ДКП и числа отсчетов).

2) Получение спектров при помощи различных дискретных косинусных преобразований, включая дискретное преобразование Фурье (ДПФ) для нескольких типов сигнала.

3) Оценка свойств различных видов дискретного косинусного преобразования на основе полученных результатов.

4) Оценка влияния количества отсчетов спектра, полученного с помощью ДКП на точность восстановления исходного сигнала.

На рис. 1 приведены примеры, иллюстрирующие выполнение пп. 1–4 предложенной структуры проведения лабораторных работ.

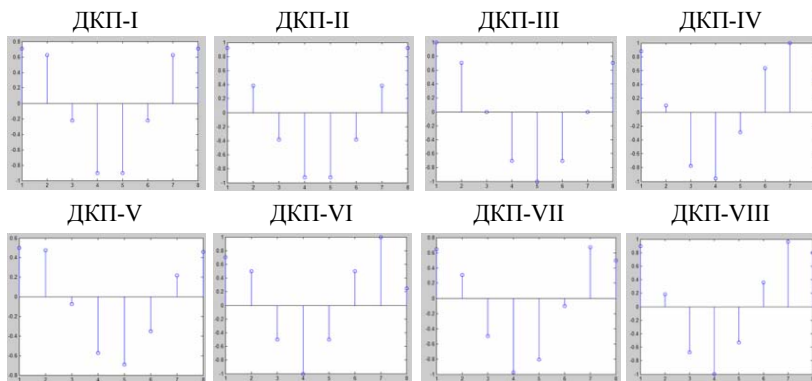


Рис. 1. Базисные функции ДКП-I, ..., ДКП-VIII,  $N = 8$ ,  $k = 2$

На рис. 1 представлены примеры базисных функций для ДКП-I, ..., ДКП-VIII, при  $N = 8$ ,  $k = 2$ , полученные с помощью формул (3)–(10).

На рис. 2 – базисные функции ДКП-II при  $N = 8$ .

На рис. 3 – результаты применения преобразования Фурье (рис. 3, а) и преобразований ДКП-I, ..., ДКП-VIII (рис. 3, б–и) к функции:

$$x[n] = 0,9^n \cdot \cos(0,1\pi \cdot n). \quad (3)$$

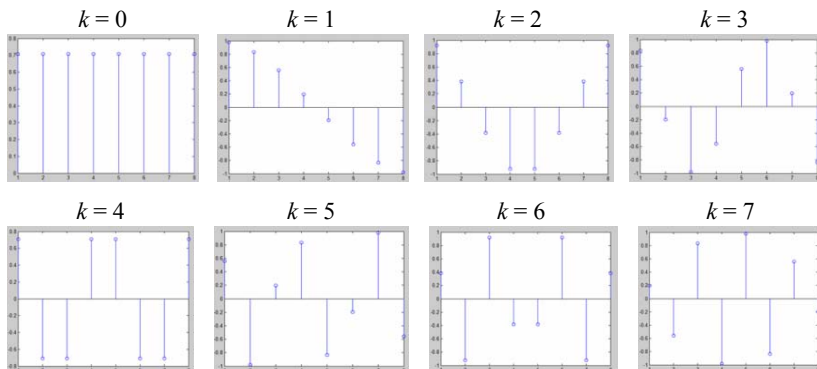


Рис. 2. Базисные функции ДКП-II,  $N = 8$

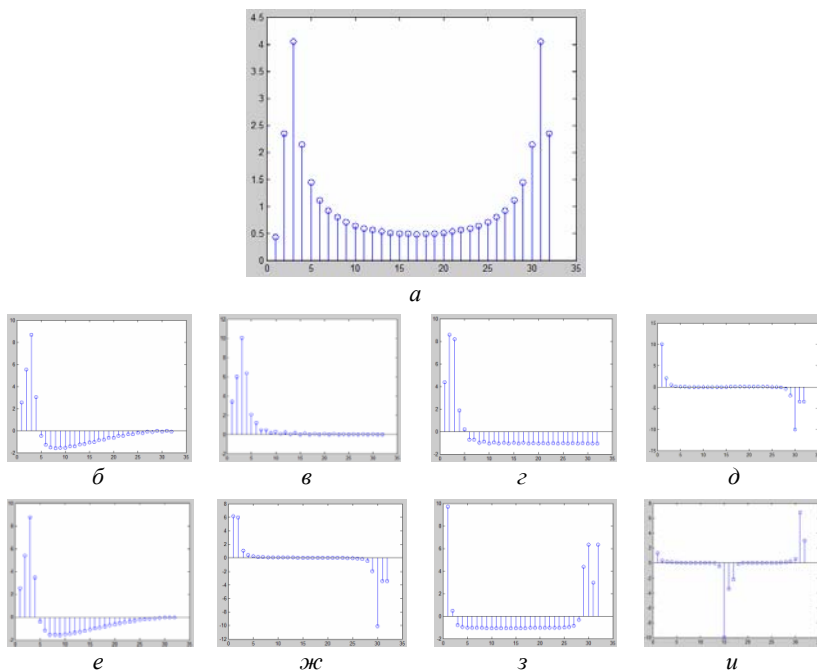


Рис. 3. Преобразование Фурье (*a*).  
Результаты преобразований ДКП-I, ..., ДКП-VIII (*б-и*)

Из рис. 3 видно, что ДКП обеспечивают «концентрацию» энергии сигнала в меньшем числе отсчетов спектра по сравнению с преобразованием Фурье. Особенно эффективно концентрация спектра выполняется в случае применения ДКП-II, что позволяет получить наибольшую степень компрессии сигнала.

Степень компрессии спектра при применении ДКП-II зависит от вида преобразованного сигнала. На рис. 4, а, в представлены примеры двух тестовых сигналов в виде комплексных экспонент, а на рис. 4, б, г – результаты их ДКП-II-преобразований.

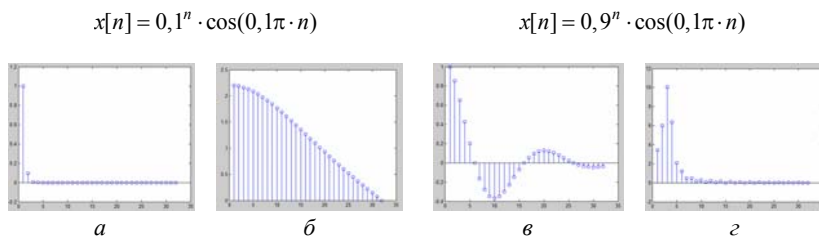


Рис. 4. Тестовые сигналы (а, в) и их ДКП-II-преобразования (б, г)

На рис. 5, а показан тестовый сигнал  $x[n] = 0,9^n \cdot \cos(0 \cdot \pi \cdot n)$  для  $N = 32$ , а на рис. 5, б – соответствующий восстановленный сигнал после прямого и обратного варианта ДКП-II с полностью сохраненными значениями его отсчетов. На рис. 5, в – восстановленный сигнал, у которого 28 коэффициентов ДКП-II были отброшены.

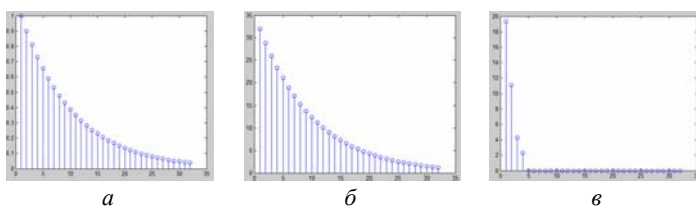


Рис. 5. Тестовый (а) и восстановленные сигналы: с полностью сохраненными отсчетами (б); с отброшенными 28 коэффициентами ДКП-II (в)

Ниже представлены:

1) результаты исследований по оценке среднеквадратичной погрешности как функции числа отброшенных отсчетов при  $N = 32$  (рис. 6);

2) зависимость процента отброшенных коэффициентов относительно их общего количества как функции значения  $N$  при постоянной допустимой среднеквадратичной погрешности  $\delta \leq 0,7\%$  (рис. 7).

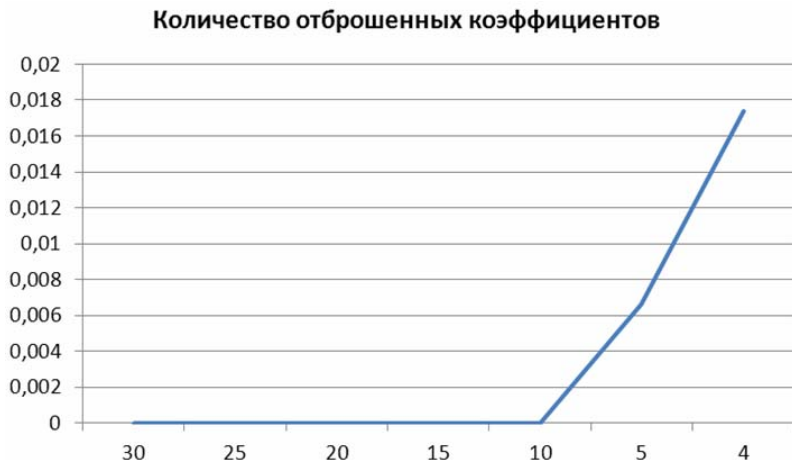


Рис. 6. Оценка среднеквадратичной погрешности как функции числа отброшенных отсчетов при  $N = 32$



Рис. 7. Зависимость процента отброшенных коэффициентов относительно их общего количества как функции значения  $N$

Представленные на рис. 1–7 результаты показывают, что представленная структура выполнения лабораторных работ позволяет изучить основные теоретические положения и экспериментально исследовать особенности применения дискретного косинусного преобразования в системах цифровой обработки сигналов и его сжатия для других типов преобразований подобного вида.

### Список литературы

1. *Оппенгейм, А.* Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – М. : Техносфера, 2006. – 856 с.
2. *Rao, K. R., Yip, P.* “Discrete Cosine Transform: Algorithms, Advantages, Applications, Academic Press,” Boston, MA, 1990. – 353 p.
3. *Сергиенко, А. Б.* Цифровая обработка сигналов : учеб. для вузов. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2007. – 751 с.
4. *Сергиенко, В. С.* Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах : учеб. пособие / В. С. Сергиенко, В. В. Баранов. – М. : РадиоСофт, 2011 – 360 с.
5. *Сэломон, Д.* Сжатие данных, изображений и звука. – М. : Техносфера, 2004. – 386 с.

### Laboratory works for the study of discrete cosine transformation

**Abstract.** *The structure for carrying out laboratory works for study of discrete cosine transformation is proposed. Experimental results confirming the validity of the proposed.*

**Keywords:** discrete cosine transform, signal compression, discrete Fourier transform.

*М. А. Бояршинов*, канд. техн. наук, доц.

*Р. Р. Хусаенов*, студент

E-mail: mabkb@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Расчет среднего числа переспросов и среднего времени задержки при использовании сетевого протокола CSMA**

*Статья посвящена оценке параметров радиосети, работающей по протоколу случайного множественного доступа с прослушиванием среды (CSMA). Результатом исследования является определение среднего числа попыток до успешной передачи для разного числа абонентов, развернутых на ограниченной территории. Рассматривается равновероятный доступ абонентов к сети.*

**Ключевые слова:** протокол, CSMA, приоритет, коллизия, канал, переспрос, время задержки.

### **Введение**

Главной проблемой любых ширококвещательных сетей является вопрос о предоставлении канала абонентам, у которых возникла необходимость одновременно им воспользоваться. Наличие общего канала связи, коллективно используемого небольшой группой абонентов, оснащенных маломощными радиостанциями, определяет наибольший интерес в исследовании эффективности протоколов множественного доступа. Исследуемым типом сети является событийно-ориентированная сеть, имеющая небольшую конкуренцию среди абонентов за доступ к каналу. Данный тип сети актуален среди геологических групп, сотрудников МЧС и иных специальных подразделений, действующих в незаселенной местности.

Из-за случайности моментов времени, в которые пользователи могут начать передачу, не исключено, что два или несколько пользователей могут выйти на связь в пересекающиеся промежутки времени, в результате чего произойдет столкновение кадров данных, называемых коллизиями. Если учесть, что при работе групп абонентов необходимо поддерживать связь в сложной, меняющейся, помеховой об-



становке, то основной трудностью является определение и предотвращение коллизий. Ключевым протоколом в решении данной проблемы является вероятностный сетевой протокол, известный как CSMA (Carrier Sense Multiple Access – множественный доступ с прослушиванием несущей). Данный протокол является наиболее распространенным протоколом доступа к среде среди беспроводных сетей и реализует идею – сначала определить, занят канал или нет, и только после этого начинать передачу данных [3].

Существует три версии протокола с опросом несущей CSMA: с настойчивостью 1, ненастойчивый и с настойчивостью  $p$ . Прежде чем их анализировать, рассмотрим работу протокола в целом.

Положим, что абонент А имеет данные, подлежащие передаче. Прежде чем начать передачу, он пытается принять сигналы, тем самым проверяя, не передает ли данные какой-либо другой абонент. Если канал, по которому осуществляется передача, свободен, то абонент начинает передачу данных сам. Если же узел А обнаруживает сигналы, исходящие от любого другого пользователя, то он воздерживается от передачи на случайный промежуток времени, а потом вновь прослушивает канал. Это повторяется до тех пор, пока узел А не осуществит передачу данных [1].

Тем не менее условие прослушивания канала узлом перед началом передачи не гарантирует отсутствия возникновения коллизий. Это связано с ненулевым распространением сигнала между узлами. Сигнал, передаваемый определенным узлом, не блокирует передачу данных других узлов до тех пор, пока не достигнет всех остальных [2].

Если возникла коллизия, то станция ждет в течение случайного интервала времени, затем вновь прослушивает канал и, если он свободен, пытается передать данные еще раз. Таким образом, станция передает данные с вероятностью 1, как только обнаружит, что канал не занят. Такой протокол называется протоколом CSMA с настойчивостью 1.

Для ненастойчивого CSMA-протокола характерно прослушивание узлом канала через случайные промежутки времени, если он оказывается занят. Это приводит к более эффективному использованию канала, но увеличивает интервал ожидания.

Для протокола с настойчивостью  $p$  имеет место узел с вероятностью  $p$  начать передачу, если канал окажется свободным. С вероятностью  $q$  он откажется от передачи и будет ждать следующего такта. Этот процесс повторяется до тех пор, пока кадр данных не будет передан. С помощью данной версии протокола можно оценивать ожидаемую нагрузку на канал и в зависимости от этого регулировать вероятность доступа к каналу. В связи с этим, расчеты ведутся для протокола

CSMA с настойчивостью  $p$ , так как он является более эффективным на фоне двух других его версий.

Расчет среднего числа попыток до успешной передачи среди абонентов сети является наиболее простым, а полученные результаты могут определить целесообразность или ее отсутствие при дальнейших расчетах. Беспriorитетный доступ говорит о том, что у каждого из узлов сети возможности занять канал равновероятны. Таким образом, если сеть составляют определенное количество станций, имеющих равные возможности доступа к каналу, то вероятность занятия канала одной станцией определяется как:

$$p = \frac{1}{n}. \quad (1)$$

Среднее количество попыток до успешной передачи находится как:

$$\xi = \frac{n}{(q)^{np}}, \quad (2)$$

где  $q$  – вероятность того, что канал будет занят.

Объединив формулы (1) и (2), получим

$$\xi = \frac{n}{1-p}. \quad (3)$$

Произведем оценку среднего количества попыток до успешной передачи в зависимости от количества узлов в сети. Выполнив расчет согласно выражениям (1) и (3), при количестве узлов  $n = 8, 16$  и  $32$ . Полученный результат занесем в табл. 1.

**Таблица 1. Среднее число попыток до успешной передачи**

|                                  |       |        |         |
|----------------------------------|-------|--------|---------|
| Количество узлов в сети – $n$    | 8     | 16     | 32      |
| Вероятность занятия канала – $p$ | 0,125 | 0,0625 | 0,03125 |
| Среднее число попыток – $\xi$    | 9     | 17     | 33      |

Полученный результат говорит о том, что при увеличении числа абонентов в сети возрастает количество переспросов, вызванных из-за возникновения коллизий, вследствие задержек при распространении сигнала или тем, что канал с большей вероятностью оказывается занят, поэтому возрастает интервал ожидания в борьбе за доступ к каналу среди остальных узлов [1].

Средняя задержка доступа узла к каналу определяется как среднее время с попытки отправки пакета узлом и до его успешной передачи [3].

Задержка доступа узла к каналу  $t_{mean}$  состоит из таких компонентов, как задержка передачи пакетов другими узлами сети и задержка передачи в случае возникновения коллизии. Согласно теоретическим данным, коллизия обнаруживается по завершении передачи кадра данных, что позволяет вычислять продолжительность пакетного цикла при неудачной передаче аналогично случаю с успешной передачей (рисунок) [4].



Передача пакетов организована в пакетных циклах продолжительностью  $\tau$ , которая включает:

- $\beta_1$  – минимальный временной межпакетный интервал;
- $\beta_2$  – длительность одного мини-слота;
- $\beta_3$  – время передачи одного бита сообщения;
- $l \cdot \beta_2$  – фиксированный приоритетный интервал;
- $W \cdot \beta_2$  – случайный интервал времени;
- $PktLength \cdot \beta_3$  – интервал времени передачи сообщения.

Ось времени тактируется станциями на мини-слоты длительностью  $a_c$ . Определим длительность такого мини-слота, который определяется временем распространения радиосигнала по сети диаметром  $d_{max} = 5$  км:

$$a_c = \frac{d_{max}}{c} = \frac{5000 \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \text{ М/с}} = 16,67 \text{ мкс}, \quad (4)$$

где  $d_{max}$  – расстояние между максимально удаленными абонентами;  $c$  – скорость распространения радиоволны.

Среднее время задержки по передаче пакета сообщения может быть оценено как средняя продолжительность временного интервала  $\Delta_{mean}$  между двумя последовательными успешными попытками доступа к каналу, предпринятыми одним узлом (рис. 1). Временной интервал  $\Delta_{mean}$  определяется выражением:

$$\Delta_{mean} = \xi \cdot \tau, \quad (5)$$

где  $\xi$  – среднее число попыток доступа к каналу, предпринятых определенным узлом;  $\tau$  – средняя длина пакетного цикла.

Время задержки доступа узла к каналу рассчитывается как:

$$t_{mean} = \Delta_{mean} - PktLength \cdot \beta_3. \quad (6)$$

Для расчета времени задержки узла на доступ к каналу примем  $PktLength = 96$  бит и  $\tau = 3$  мс. Время передачи одного бита сообщения  $\beta_3$  определим исходя из заданных информационных скоростей передачи, равных 32, 128 и 1000 кбит/с. Среднее число попыток доступа узла к каналу  $\xi$  определено в табл. 1. Объединив формулы (5) и (6), получим данные и внесем их в табл. 2:

$$t_{mean} = \xi \cdot \tau - PktLength \cdot \beta_3. \quad (7)$$

**Таблица 2. Время задержки узла на доступ к каналу**

| $\xi$ , кол | $t_{mean}$ , мс                        |                                       |                                       |
|-------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
|             | При $\beta_3 = 30,52 \cdot 10^{-3}$ мс | При $\beta_3 = 7,63 \cdot 10^{-3}$ мс | При $\beta_3 = 0,98 \cdot 10^{-3}$ мс |
| 9           | 24                                     | 26                                    | 27                                    |
| 17          | 48                                     | 50                                    | 51                                    |
| 33          | 96                                     | 98                                    | 100                                   |

Согласно полученным значениям можно сделать вывод, что для времени задержки одного узла на доступ к каналу, ключевым параметром является количество попыток, т. е. количество переспросов, при условии, что канал занят каким-либо узлом сети.

### **Выводы**

Была проведена оценка среднего количества переспросов и среднего времени задержки доступа узла к каналу. Как видно из табл. 2, среднее время задержки доступа узла к каналу с увеличением скорости передачи одного бита возрастает. Это связано с тем, что по мере увеличения скорости растет и частота запросов на доступ к каналу от абонентов, в результате чего интервал соревновательного окна расширяется, увеличивая тем самым частоту переспросов среди узлов сети.

Полученные результаты для бесприоритетного доступа абонентов к каналу не соответствуют параметрам, способствующим достаточному уровню производительности сети, при которой может осуществляться бесперебойная передача сообщений в требуемые моменты времени. Поэтому стоит отметить, что сеть с равновероятным доступом к каналу абонентов не находит за собой эффективного применения при

количестве узлов свыше 4, так как вероятность доступа станций к передающей среде становится в разы меньше необходимой, что сильно сказывается на производительности сети в целом, повышает вероятность возникновения коллизий и, как следствие, не гарантирует безошибочной доставки сообщения адресатам. Указанные побочные обстоятельства могут негативно отразиться на представителях специальных подразделений, которым необходимо быстро и бесперебойно обеспечить связь на малой территории. Поэтому одним из путей улучшения эффективности радиосети является доступ к каналу по приоритетам, где выбранные абоненты имеют большие вероятности доступа к каналу на фоне остальных.

### Список литературы

1. Блэк, Ю. Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы / Ю. Блэк, М. А. Болдырев, В. В. Васильков. – М. : Мир, 1990. – 510 с.
2. Вишнеvский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М. : Техносфера, 2003. – 574 с.
3. Гейер, Д. Беспроводные сети. Первый шаг / пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. – 192 с.
4. Даденков, С. А. Оценка и анализ производительности LonWorks сети на основе predictive p-persistent CSMA протокола / С. А. Даденков, Е. Л. Кон // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2012. – № 6. – С. 206–216.

### Calculation of average negative acknowledgements and average time of a delay under the network CSMA protocol using

**Abstract.** *Article is devoted to assessment of the radio network parameters working by the protocol of Carrier Sense Multiple Access (CSMA). Definition of average number of attempts before successful transmission for different number of customers on terminated area is result of research. Equally probable access of customers to a network is considered.*

**Keywords:** protocol, CSMA, priority, collision, channel, redemand, time delay.

*М. А. Бояршинов*, канд. техн. наук, доц.

*О. М. Шабалина*, студентка

E-mail: mabkb@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Анализ пик-фактора многоканальных сигналов с модуляцией ФМ-2 в каждом подканале**

*В статье рассматриваются сложные многоканальные сигналы. Приведены результаты моделирования их формирования и оценка пик-фактора при использовании в подканалах сигналов ФМ-2.*

**Ключевые слова:** анализ, пик-фактор, многоканальный сигнал, моделирование, спектр.

В настоящее время в связи с развитием элементной базы все больше внимания уделяется сложным многоканальным сигналам, которые позволяют эффективно адаптироваться к условиям связи, обеспечивая защиту от помех и имеют ряд других достоинств. Одним из препятствий для широкого применения таких сигналов, особенно в мало-мощных передатчиках, является ухудшение пик-фактора по сравнению с одноканальными сигналами, который характеризует энергетическую эффективность сигнала. В статье рассмотрены многоканальные (многополосные) сигналы с использованием в подканалах двоичных фазоманипулированных сигналов (ФМ-2). Приведены результаты моделирования для несущей частоты 3 МГц с разнесением подканалов на 2 кГц. Моделирование проведено в среде Matlab.

Пик-фактор – это отношение максимальной (пиковой) и средней мощностей сигнала. Обычно измеряется в децибелах [1]. Наилучший случай – это равенство указанных мощностей, что выполняется при постоянной амплитуде сигнала. При сложении сигналов в нескольких каналах данное требование выполнить сложно. Кроме того, любая модуляция или манипуляция расширяет спектр сигнала. Чтобы не выйти за пределы отведенной полосы частот, приходится этот спектр ограничивать, что приводит к росту пик-фактора.

Пик-фактор вычисляется по формуле

$$PAPR = 10 \lg \frac{\max(|Sk|^2)}{E(|Sk|^2)}, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где  $\max(|Sk|^2)$  – значение пиковой мощности сигнала;  $E(|Sk|^2)$  – значение средней мощности сигнала.

Моделирование производилось для простейшего сигнала. Была разработана программа для оценки пик-фактора и рассмотрен простейший случай для модуляции ФМ-2 сигнала с одинаковой информацией в каждом подканале. На данном примере можно рассмотреть достоинства и недостатки многоканальных сигналов.

Рассмотрим случай, когда в каждом подканале используется одна и та же информационная последовательность, то есть переброс фаз происходит в один и тот же момент времени. Результаты моделирования для указанных выше несущей частоты и разноса подканалов, при совпадении информационных последовательностей в подканалах приведены на рис. 1–4.

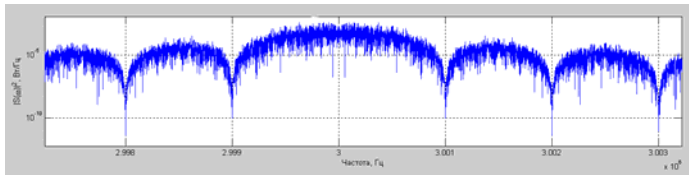


Рис. 1. Энергетический спектр одноканального сигнала

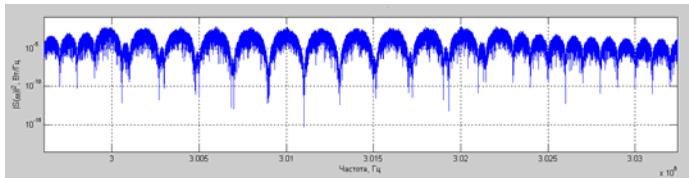


Рис. 2. Энергетический спектр двенадцатиканального сигнала

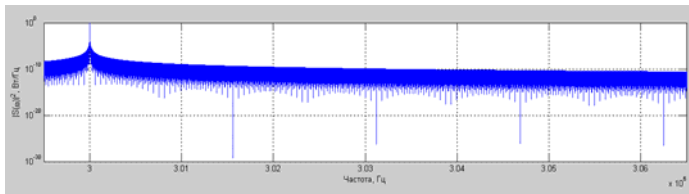


Рис. 3. Энергетический спектр одноканального немодулированного сигнала

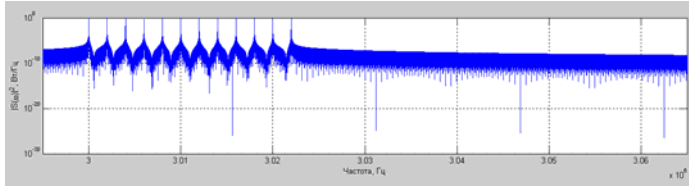


Рис. 4. Энергетический спектр двенадцатиканального немодулированного сигнала

Спектр на рис. 1 соответствует результатам, приведенным в [2], что говорит о правильности выполнения моделирования.

Результаты сравнения пик-факторов немодулированного и модулированного сигналов приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Пик-фактор сигналов с одинаковой информационной последовательностью в каждом подканале**

| PARP одного канала модулированного сигнала, дБ | PARP одного канала немодулированного сигнала, дБ | PARP 12 каналов модулированного сигнала, дБ | PARP 12 каналов немодулированного сигнала, дБ |
|--|--|---|---|
| 1,5867   | 0  | 12,3867                                     | 10,7918                                       |

Теперь рассмотрим случай, когда в каждом подканале информация дублируется, то есть длительность канального символа изменяетсякратно двум, и оценим влияние такого изменения на пик-фактор. Составим табл. 2.

**Таблица 2. Пик-фактор сигналов с дублированной информацией в каждом подканале**

| PARP одного канала модулированного сигнала, дБ | PARP одного канала немодулированного сигнала, дБ | PARP 12 каналов модулированного сигнала, дБ | PARP 12 каналов немодулированного сигнала, дБ |
|--|--|---|---|
| 1,5873   | 0  | 5,6018                                      | 10,7918                                       |

Известно, что спектр ФМ-сигналов имеет лепестковый характер и энергия сигнала оценивается по основному лепестку. Результаты моделирования показывают, что в одном лепестке модулированного одноканального сигнала содержится 92 % энергии, и поэтому надо применять методы снижения пик-фактора: увеличивать защитный интервал, применять сигналы с многопозиционной фазовой манипуляцией или другие методы снижения пик-фактора.

Таким образом, в работе приведены результаты первоначальных исследований влияния использования многоканальной передачи на



пик-фактор. Результаты приведены для двоичных фазоманипулированных сигналов (ФМ-2). Приведены количественные оценки, позволяющие оценить ухудшение характеристик. В дальнейшем планируется рассмотреть многоканальную передачу для других видов сигналов: OFDM, дискретно-частотных и многопозиционных фазовых. Отработана методика моделирования в среде Matlab. Сравнение результатов для простейших случаев с общеизвестными и их совпадение показало правильность предложенной методики моделирования.

### Список литературы

1. *Starche*. Пик-фактор и КВ ОБП. Проигрывает ли OFDM? [Электронный ресурс] // Специальные радиосистемы: радиосвязь / радиомониторинг [Сайт]. – URL: <http://www.radioscanner.ru/info/article418/> (дата обращения: 18.11.2015).
2. *Маковеева, М. М.* Системы связи с подвижными объектами / М. М. Маковеева, Ю. С. Шинаков // Системы связи с подвижными объектами: Учеб. пособие для вузов. – М. : Радио и связь, 2002. – 440 с.
3. Синтез составного дискретно-частотного сигнала / А. Н. Копысов, И. З. Климов, Ю. Т. Загидуллин, В. А. Мошонкин, А. А. Богданов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2013. – № 1. – С. 95–97.

### Analysis of the peak-factor multi-channel signals with FM-2 modulation in each subchannel

**Abstract.** *The article deals with the complex multi-channel signals. The results of the simulation of the formation and evaluation of the peak-factor when using FM-2 signals in each subchannel.*

**Keywords:** analysis, peak-factor, multichannel signal, simulation, spectrum.

*В. А. Вагина*, студентка  
*Е. М. Зайцева*, канд. пед. наук, доц.  
E-mail: em\_zaytseva@yahoo.com  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Разработка тестовых заданий по специальным дисциплинам направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

*В данной работе обоснована актуальность оценки знаний учащихся в форме тестирования, определены цель, объект, предмет и задачи исследования; раскрыта его научная новизна, теоретическая и практическая значимость; изложены основные положения, выносимые на защиту.*

**Ключевые слова:** тестирование, оценка знаний, образовательная деятельность, инфокоммуникационные технологии и системы связи.

В настоящее время вопрос организации проведения контроля знаний студентов актуален, т. к. в связи с введением в действие новых государственных стандартов высшего образования уменьшается количество часов аудиторной нагрузки. В Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова ведется подготовка студентов по направлению 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». В учебный план данного направления включен блок специальных дисциплин: теория построения инфокоммуникационных сетей и систем, история и методология науки и техники инфокоммуникационных технологий, сетевые инфокоммуникационные технологии, теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем, защита информации в инфокоммуникационных сетях и системах, цифровая обработка сигналов в инфокоммуникационных системах, широкополосные сигналы в инфокоммуникационных сетях, имитационное моделирование инфокоммуникационных сетей и систем, помехоустойчивое кодирование, технологии беспроводной связи.

Под специальными дисциплинами мы понимаем те дисциплины, которые нацелены на углубление знаний и предполагают получение навыков и знаний по данной специальности, к ним относятся дисципли-

лины «Сетевые инфокоммуникационные технологии» и «Имитационное моделирование инфокоммуникационных сетей и систем» [4].

Важнейшим аспектом любой образовательной деятельности является система контроля качества знаний. Процедура контроля знаний также осложнена тем, что требуется наблюдение за развитием обучаемых на всех этапах обучения. Актуальность таких систем очевидна не только для целей измерения уровня подготовленности, но и для проведения рейтинга обучаемых, мониторинга учебного процесса, для организации адаптивного обучения, дистанционного образования [2, 3].

Актуальность тестового метода обусловлена его преимуществами перед другими педагогическими методами: научная обоснованность теста, которая дает объективную оценку; технологичность тестовых методов; точность измерений; наличие единообразных требований для всех испытуемых; совместимость тестовых технологий с другими современными образовательными технологиями [1].

Целью данной работы является разработка тестовых заданий для следующих дисциплин направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»: сетевые инфокоммуникационные технологии, имитационное моделирование инфокоммуникационных сетей и систем.

Задачи:

1. Изучить историю развития систем тестирования.
2. Изучить последовательность создания тестов в системе Moodle.
3. Разработать тестовые задания по дисциплинам направления «Инфокоммуникационные системы и сети связи» в системе Moodle.
4. Провести тестирование, обработать результаты и составить методические указания по созданию тестов по специальным дисциплинам в системе высшего профессионального образования.

В работе приводится история системы оценки знаний учащихся в странах Востока и Запада, рассматривается эволюция контроля знаний. Также приводится классификация тестов, приведено краткое описание различных видов педагогических тестов, рассмотрены виды тестового контроля в системе педагогического образования России и их основные характеристики.

Был проведен анализ технологии создания тестов в системе дистанционного обучения Moodle и разработаны комплекты тестовых заданий.

Приводится анализ результатов проведения тестирования, проводится редактирование материалов в соответствии с полученными рекомендациями от преподавателей данных дисциплин. Результаты тестирования будут обработаны, оформлены в диаграммы и таблицы, проведено моделирование, составлены методические указания для

преподавателей по составлению тестовых заданий для контроля знаний учащихся.

Объект исследования – учебные программы дисциплин направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Предмет исследования – тестовые задания по дисциплинам направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались общенаучные методы теоретического исследования (информационный поиск в интернете, поиск и анализ литературы, учебных планов, рабочих программ, обобщение, систематизация, классификация, моделирование, синтез, системный подход), методы эмпирического исследования (обобщение педагогического опыта, наблюдение, анкетирование, тестирование), экспертные методы и методы математической статистики.

Научная новизна исследования заключается в следующем: повышение эффективности оценки знаний студентов по специальным дисциплинам достигается за счет использования тестовых заданий. В этом случае наблюдается возможность оценки знаний по всему курсу в целом, исключается возможность личностной оценки преподавателем, экономится время преподавателя. Нововведением является оценка знаний в форме теста, в отличие от применяющейся в настоящее время оценки знаний в классической форме (по билетам), позволяют выполнить быструю и эффективную оценку знаний, имеют существенное значение для преподавателей дисциплин [5].

Теоретическая значимость исследования состоит в следующем:

- рассмотрена история развития систем оценки знаний учащихся, в частности тестирование;

- выполнен анализ систем оценки знаний учащихся, составлены тесты, получены результаты решения разработанных тестов учащимися, данные обработаны;

- комплектов тестовых заданий для оценки знаний обучающихся по направлениям подготовки «Радиотехника» и «Телекоммуникации»;

- методических указаний по работе с учащимися.

Для тестирования студентов выбраны следующие типы тестовых заданий: задания с множественным выбором, вычислительные.

Далее на рисунке представлен пример реализации тестовых заданий в системе Moodle.

Практическая значимость состоит в разработке и внедрении в образовательную практику.

**Вопрос 1**

Не завершено

Балл: 1

Распределенная обработка информации –это...

Выберите один ответ:

- а. комплекс операций с информацией, проводимый на независимых, но связанных между собой вычислительных машинах, предназначенных для выполнения общих задач
- б. комплекс операций, проводимый на независимых между собой вычислительных машинах, предназначенных для выполнения общих задач
- с. комплекс операций с информацией, проводимый на зависимых между собой вычислительных машинах, предназначенных для выполнения общих задач

Пример тестового вопроса в системе Moodle.

Разработанная система тестовых заданий будет апробирована с использованием системы дистанционного тестирования. Данная работа позволит повысить качество подготовки обучающихся направлений «Телекоммуникации» и «Радиотехника». Также будет составлена методичка для преподавателей.

### Список литературы

1. *Зайцева, Е. М.* Использование электронных учебных пособий в учебном процессе в техническом университете / Е. М. Зайцева, В. А. Сидорина // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 11-2. – С. 222–224. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21020611> (дата обращения: 10.06.2016).

2. *Зайцева, Е. М.* К вопросу о тестовом контроле знаний студентов направлений «Радиотехника» и «Телекоммуникации» в техническом университете / Е. М. Зайцева, В. А. Сидорина // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. –2011. – № 6. – С. 153–156. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16650703> (дата обращения: 10.06.2016).

3. *Кабанова, Т. А.* Тестирование в современном образовании / Т. А. Кабанова, В. А. Новиков. – М. : Высш. шк., 2010. – 384 с.

4. *Казиев, В. М.* Введение в практическое тестирование. – М. : Интуит.ру, Бином. Лаборатория Знаний, 2008. – 386 с.

5. *Майоров, А. Н.* Теория и практика создания тестов для системы образования: Как выбирать, создавать и использовать тесты для целей образования. – М. : Интеллект-Центр, 2001. – 296 с.

## **Development of test tasks on special disciplines of the “Infocommunication Technologies and Communication Systems” area**

**Abstract.** *The article considers purpose, object, subject and research problems. There are present scientific novelty of research, theoretical and practical importance in this text. Relevance of testing is shown also.*

**Keywords:** testing, assessment of knowledge, educational activity, test tasks development, Infocommunication Technologies and Communication Systems.

К. К. Владыкина, магистрант

Д. С. Васильев, аспирант

E-mail: danil.s.vasilyev@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Исследование эффективности алгоритма ARQ для доставки потоковых данных в FANET

*Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в качестве устройств, обеспечивающих передачу данных, в последние годы получает все большее распространение. Тем не менее, качество передачи информации по беспроводным каналам связи остается неудовлетворительным. В данной статье рассматривается задача минимизации потерь данных за счет применения существующей системы запроса повторной передачи (ARQ) в беспроводном соединении стандарта 802.11n.*

**Ключевые слова:** ARQ, Wi-Fi, FANET, качество обслуживания, БПЛА.

### Введение

Активное развитие беспроводных технологий, применяемых в системах передачи данных, привело к появлению беспроводных самоорганизующихся сетей (*англ.* ad hoc networks). Особенности данных сетей являются децентрализованная структура с изменяющейся топологией, а также автономность и мобильность узлов. Каждый узел такой сети является одновременно маршрутизатором и конечным адресатом.

Беспроводные самоорганизующиеся сети беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), или сети FANET (*англ.* Flying Ad hoc Networks), – это важное направление в телекоммуникациях [1]. Благодаря простоте конфигурирования и скорости развертывания сетей FANET, спецслужбы смогут использовать их в чрезвычайных ситуациях, таких как природные и техногенные катастрофы, военные конфликты.

Тем не менее существует ряд проблем, не позволяющих широко использовать сети FANET. Наиболее существенная проблема – это низкое качество обслуживания (*англ.* Quality of Service, QoS) в данных сетях.

Ошибки передачи возникают в связи с тем, что узлы могут часто устанавливать и разрывать соединение, перемещаясь в произвольном направлении. Поэтому требуются алгоритмы, позволяющие обнаруживать ошибки, возникающие в процессе передачи данных по каналу связи [2–10].

В целях повышения качества обслуживания в сетях FANET предлагается применять алгоритмы доставки потоковых данных с восстановлением потерянных фрагментов. Одним из возможных подходов является система с автоматическим запросом повторной передачи (*англ. ARQ*) [11, с. 300]. Передаваемые данные разбиваются на кадры. Далее на принимающей стороне производится проверка каждого кадра на наличие битовых ошибок. Если ошибки обнаружены, передающей стороне отправляется запрос повторной передачи данных.

Высокая стоимость телекоммуникационного оборудования привела к созданию большого количества различных симуляторов, которые благодаря использованию математических моделей позволяют получить результаты, приближенные к реальным.

Целью данной работы является исследование характеристик передачи потоковых данных в сети БПЛА, включающей один мобильный и один стационарный узел. Исследуется алгоритм повторного запроса повторной передачи потерянных кадров *ARQ*, реализованный в стандарте *802.11n*, в среде имитационного моделирования *NS-3* [12]. Данный алгоритм был разработан в рамках стандарта *802.11n* для борьбы с потерями кадров, вызванными коллизиями в беспроводной среде передачи [13].

## **Сценарии моделирования**

### ***Описание сценариев***

Моделирование осуществлялось в среде *NS-3*, ориентированной на научные и образовательные проекты. Данное приложение является бесплатным. В качестве языка программирования в *NS-3* используется *C++*. Для установки и использования данного программного продукта необходима система *Linux*, которая также является свободно распространяемой.

Первый сценарий моделирования представляет собой сеть из двух стационарных узлов (рис. 1, *a*). Узел 1 – источник, узел 0 – получатель.

С каждой последующей симуляцией расстояние между узлами меняется с 400 до 560 метров с шагом 10 метров. При расстоянии между узлами меньше чем 400 м передача данных осуществляется без потерь. При расстоянии более 560 м передача данных невозможна.





Рис. 1. Схемы первого (а) и второго (б) сценариев моделирования

Второй сценарий моделирования представляет собой сеть из одного стационарного узла-получателя и одного узла-источника, имитирующего движение БПЛА с жесткими крыльями (рис. 1, б). Узел 1 – источник, узел 0 – получатель.

Узел-источник движется по окружности с постоянной угловой скоростью 50 м/с (рис. 2). В ходе данного сценария расстояние между источником и получателем меняется в интервале между 450 и 550 метрами. Таким образом, характеристики беспроводного канала связи между источником и получателем меняются в ходе имитационного моделирования.

#### ***Разработка имитационной модели***

Чтобы обеспечить работу сети в симуляторе NS-3, необходимо сначала подключить соответствующие модули [3]:

- 1) Модуль сети и Интернет.
- 2) Wi-Fi-модуль.
- 3) Модуль приложений.
- 4) Модуль движения.

Далее создаются узлы с требуемыми параметрами (таблица).

#### **Параметры имитационного моделирования**

| Параметр                 | Значение  |                     |
|--------------------------|---|---------------------|
|                          | Стационарный сценарий                               | Мобильный сценарий  |
| Время симуляции          | 20 секунд   | 120 секунд          |
| Угловая скорость         | нет   | 50 метров в секунду |
| Расстояние между узлами  | От 400 до 560 метров с шагом 10 метров              | 500 метров          |
| Стандарт связи           | 802.11n, 5 ГГц, MCS 1, PТх = 17,5 дБм               |                     |
| Модель затухания сигнала | Формула передачи Фрииса для свободного пространства |                     |
| Протоколы                | UDP/IP  |                     |
| Скорость передачи данных | 1 Мбит/с  |                     |
| Размер полезной нагрузки | 1250 байт   |                     |

В стационарном сценарии за время симуляции передается 1000 пакетов. В мобильном сценарии количество передаваемых пакетов увеличено до 10 тысяч, а время симуляции – до 120 секунд. Этого времени достаточно, чтобы собрать необходимые статистические данные. Частотный диапазон 5 ГГц выбран в связи с тем, что на нем работает меньшее количество устройств, и он рекомендован для беспроводного соединения по стандарту 802.11n.

### **Оценка качества**

Для оценки качества передачи потоковых данных было вычислено значение коэффициента доставки пакетов  $PDR$ :

$$PDR = \frac{Rx}{Tx}, \quad (1)$$

где  $Rx$  – это количество пакетов, принятых получателем за время симуляции  $t$ ;  $Tx$  – это количество пакетов, переданных источником за время симуляции  $t$ .

Для каждого сценария было проведено  $N$  испытаний. Для расчета усредненного значения коэффициента доставки пакетов  $PDR_{ave}$  использовалось следующее выражение:

$$PDR_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^N PDR}{N}, \quad (2)$$

где  $PDR$  – это значение коэффициента доставки пакетов для текущего испытания;  $N$  – количество испытаний. Для полученных путем имитационного моделирования усредненных значений коэффициента доставки пакетов  $PDR_{ave}$  были рассчитаны доверительные интервалы.

Была получена зависимость значения  $PDR_{ave}$  от расстояния между источником и получателем  $d$  в стационарном сценарии при различных значениях максимального количества повторных передач  $slrc$  (рис. 2).

Наихудшие результаты были получены при значении  $slrc$ , равном 1. Это связано с тем, что при данном значении  $slrc$  каждый пакет передавался только один раз, и в случае потери он не восстанавливался.

При увеличении значения  $slrc$  до 7 при всех исследованных значениях  $d$  были получены лучшие результаты. Значение 7 соответствует типичному значению данного параметра в устройствах, которые присутствуют на рынке точек доступа Wi-Fi. При значении данного параметра, равном 3, были получены средние результаты при всех значениях расстояния между источником и получателем.

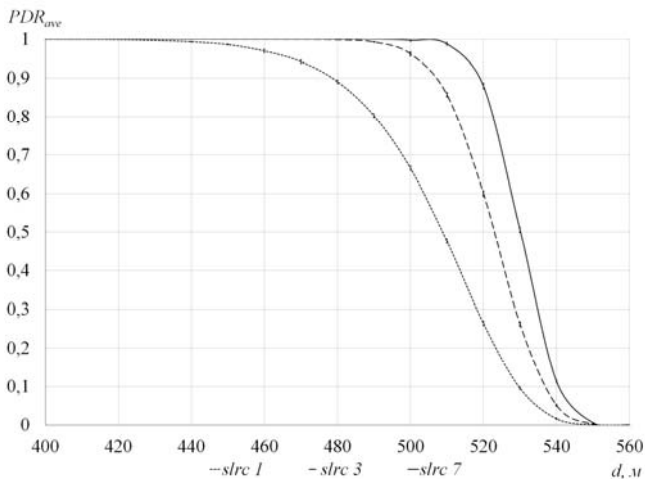


Рис. 2. Зависимость метрики  $PDR_{ave}$  от расстояния  $d$  между источником и получателем при максимальном количестве повторных передач  $slrc$ , равном 1,3 и 7 в стационарном сценарии

В мобильном сценарии расстояние между узлами изменялось за счет вращения узла-источника в интервале от 450 до 550 метров. Были получены значения  $PDR_{ave}$  при различных значениях  $slrc$  (рис. 3).

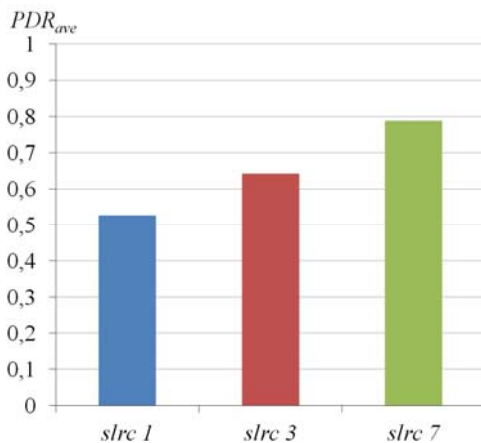


Рис. 3. Зависимость метрики  $PDR_{ave}$  от расстояния между источником и получателем  $d$  при максимальном количестве повторных передач  $slrc$ , равном 1,3 и 7 в мобильном сценарии

При значении  $slrc$ , равном 1, было получено худшее значение  $PDR_{ave}$ , равное 0,53. Среднее значение  $PDR_{ave}$ , равное 0,64, было получено при значении  $slrc$ , равном 3. При  $slrc$ , равном 7, значение метрики  $PDR_{ave}$ , было равно 0,78. Таким образом, несмотря на то, что мобильность негативно сказывается на качестве передачи, повышение значения  $slrc$  позволяет улучшить качество обслуживания в рассматриваемом мобильном сценарии.

### Выводы

В данной статье были рассмотрены два сценария моделирования: стационарный и мобильный. В обоих сценариях рассматривается беспроводное соединение стандарта *802.11n* между двумя узлами.

В первом сценарии источник и получатель стационарны. Были проведены измерения среднего коэффициента доставки пакетов  $PDR_{ave}$  при расстоянии  $d$  между узлами в интервале от 400 до 560 метров с шагом 10 метров. В данном сценарии увеличение расстояния  $d$  между узлами приводило к росту потерь пакетов. С помощью увеличения максимального количества повторных передач  $slrc$  удалось повысить средний коэффициент доставки пакетов  $PDR_{ave}$  при всех значениях  $d$ .

В мобильном сценарии источник вращается по окружности с радиусом 50 метров. В этом сценарии расстояние  $d$  между источником и получателем меняется от 450 до 550 метров в ходе каждого испытания. Изменение расстояния влияло на мощность принятого сигнала согласно формуле Фрииса для свободного пространства. Мощность принятого сигнала влияла на вероятность битовой ошибки в беспроводном канале между источником и получателем. При увеличении числа повторных передач  $slrc$  с 1 до 7 удалось повысить коэффициент доставки пакетов  $PDR_{ave}$  на 25 %.

В данной работе показана эффективность существующего алгоритма *ARQ* и его влияние на качество обслуживания в беспроводном соединении стандарта *802.11n* между двумя узлами. В мобильном сценарии при максимальном количестве повторных передач  $slrc$ , равном 7, данный механизм не позволяет полностью скомпенсировать потери, вызванные движением узла-источника.

Рассмотренный алгоритм *ARQ* был разработан для борьбы с коллизиями при передаче данных в беспроводной среде. В статье показано, что данный алгоритм эффективен при компенсации потерь, вызванных мобильностью узла-источника. Для того чтобы скомпенсировать все потери, вызванные мобильностью узла-источника при том же количестве максимальных запросов повторной передачи, может использоваться алгоритм *ARQ*, адаптированный для сетей FANET.

Адаптированный алгоритм *ARQ* должен рассматривать потери как следствие мобильности узлов сети, а не коллизий в беспроводной среде передачи.

### Список литературы

1. *Bekmezci, I., Sahingoz, O. K., Temel, S.* "Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey," in *Ad Hoc Networks*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 1254–1270.
2. *Иовлев, Д. И.* Повышение устойчивости передачи данных в сетях MANET / Д. И. Иовлев, И. В. Бойченко, В. В. Абрамов // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2(26), Ч. 1. – С. 171–177.
3. *Абилов, А. В.* Повышение качества передачи потоковых данных в сетях БПЛА с помощью PULL-PUSH-подхода / А. В. Абилов, Д. С. Васильев // Информационные технологии. – 2014. – Т. 12. – № 4. – С. 45–50.
4. *Павлова, М. М.* Оценка эффективности алгоритма ARQ при передаче потоковых данных в WLAN / М. М. Павлова, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 141–145.
5. *Чунаев, А. В.* Влияние характеристик передачи потоковых данных на качество видео в WLAN / А. В. Чунаев, А. В. Абилов, А. И. Нистюк // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 219–224.
6. *Васильев, Д. С.* Экспериментальное исследование качества передачи видео в древовидной P2P сети с алгоритмом ARQ прикладного уровня / Д. С. Васильев, А. В. Чунаев, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Т. 8. – № 1. – С. 10–14.
7. *Чунаев, А. В.* Алгоритм AL-ARQ для потоковой доставки видеоданных в беспроводной локальной сети / А. В. Чунаев, А. В. Абилов, М. М. Павлова // Информационные технологии. – 2015. – Т. 13. – № 1. – С. 68–73.
8. *Павлова, М. М.* Математическая модель передачи потоковых данных прикладного уровня по беспроводным каналам связи / М. М. Павлова, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7. – № 11. – С. 142–146.
9. *Емельянов, В. Н.* Применение адаптивных алгоритмов управления с использованием временного окна для передачи потоковых данных / В. Н. Емельянов, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 85–90.
10. *Ревило, О. А.* Алгоритмы оценки потерь пакетов с адаптацией по выборке для сетей передачи потоковых данных / О. А. Ревило, В. Н. Емельянов, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 161–164.
11. *Forouzan, B. A.* "Data communications and networking," in McGraw-Hill 5<sup>th</sup> edition. – ISBN: 978-0-07-337622-6.
12. Документация по среде имитационного моделирования NS-3 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.nsnam.org/doxygen-release/> (дата обращения: 24.06.2015).
13. 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, 2012, pp. 2695.

## **Simulation-based Study of the ARQ algorithm for data streaming in FANET**

**Abstract.** *The Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) could provide wireless data transmission with help of 802.11n standard. Nevertheless, the Quality of Service (QoS) in Flying Ad hoc Networks (FANETs) is bad. In this article we consider the Automatic Repeat-reQuest algorithm that is implemented in 802.11n standard to improve QoS in FANETs.*

**Keywords:** ARQ, Wi-Fi, FANET, QoS, UAV.

В. Н. Главатских, магистрант  
М. М. Марков, канд. техн. наук, доц.  
E-mail: morfox@yandex.ru  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Использование фильтров с характеристикой Гаусса для сужения спектра сигнала

*В статье рассматриваются различные вариации частотно-манипулированных сигналов. В частности, FSK, MSK и GMSK. Приводится краткое описание каждого из видов модуляции. Представлены спектрограммы сигналов FSK при различных значениях индекса модуляции. Описываются преимущества и недостатки систем с GMSK, в частности, приведен спектр GMSK-сигнала для наглядной демонстрации сужения спектра и увеличения скорости спада спектральных составляющих. Для демонстрации межсимвольной интерференции приведена глазковая диаграмма GMSK модулированного сигнала.*

**Ключевые слова:** FSK, MSK, GMSK, модуляция.

Частотно-манипулированный сигнал (FSK) – разновидность угловой модуляции, на сегодняшний день один из самых распространенных видов цифровой модуляции. Простота генерирования и нечувствительность к начальной фазе способствуют популяризации данного вида модуляции.

FSK-сигнал может быть описан при помощи рис. 1. На данном рисунке изображена модуляция путем сдвига частоты, непрерывно передаваемой несущей на одну из двух дискретных частот. Большая из частот определена как «mark», меньшая – как частота «space».

Длительность одного бита определяется как обратная величина битовой скорости по формуле

$$T = \frac{1}{Br}. \quad (1)$$

Частота девиации определяется по формуле

$$\omega_{\delta} = 2\pi * \frac{Br}{2m}, \quad (2)$$

где  $m$  – индекс модуляции FSK.

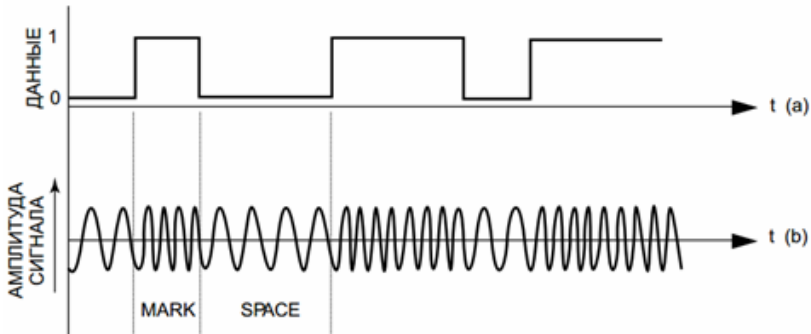


Рис. 1. FSK модуляция. Двоичные данные (а), несущая, модулированная частотно для получения FSK сигнала (b)

Спектр сигнала FSK имеет два ярко выраженных максимума разнесенных друг от друга на частоту девиации. В свою очередь девиация зависит от битовой скорости и от индекса модуляции. При уменьшении индекса модуляции максимумы сближаются и, в конце концов, преобразуются в один (см. рис. 2–4).

Из рисунков видно, что при индексе модуляции  $m = 2$  основные лепестки спектра наползают друг на друга.

На практике получила широкое применение частотная манипуляция без разрыва фазы CPFSK (Continuous phase frequency shift keying) и ее частный вид MSK (Minimal Shift Keying).

Ввиду жестких требований к ширине полосы сигнала получила широкое применение частотная манипуляция без разрыва фазы. К ним относятся сигналы MSK и GMSK. Отсутствие разрывов фазы при данных видах модуляции позволяет снизить уровень боковых лепестков. При GMSK дополнительное снижение боковых лепестков достигается за счет использования гауссовского фильтра для сглаживания фронтов импульсов. Фильтр Гаусса имеет переходную характеристику вида (см. рис. 5), изображенного в (3):

$$g(t) = \frac{BT}{T} * \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} * \exp\left(\frac{2\pi^2 * BT^2}{\ln 2 * T^2} * t^2\right), \quad (3)$$

где  $BT$  – безразмерная величина, равная  $BT = B_{-3дБ} * T$ ;  $B_{-3дБ}$  – полоса фильтра Гаусса по уровню  $-3$  дБ;  $T = 1 / Br$  – длительность единичного импульса цифровой информации, передаваемой со скоростью  $Br$  бит/с.



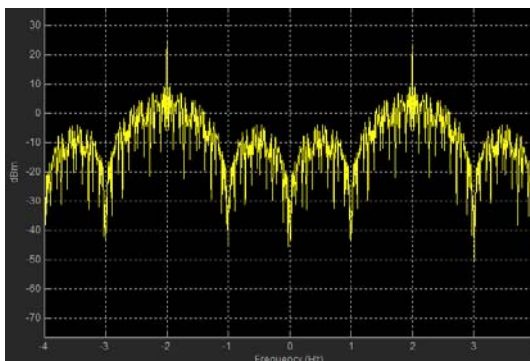


Рис. 2. Зависимость спектра FSK-сигнала от индекса модуляции ( $m = 4$ )

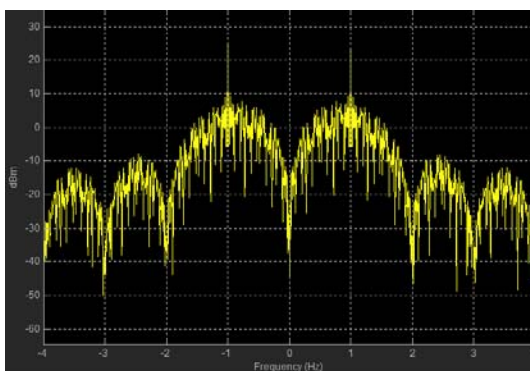


Рис. 3. Зависимость спектра FSK-сигнала от индекса модуляции ( $m = 2$ )

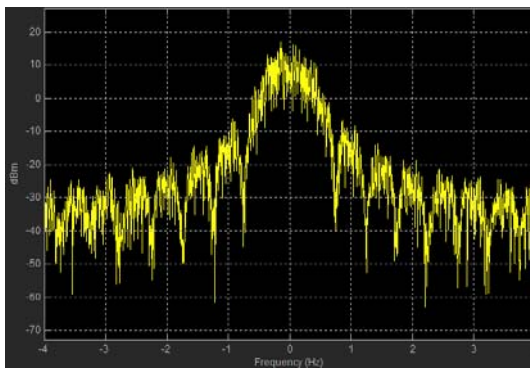


Рис. 4. Зависимость спектра FSK-сигнала от индекса модуляции ( $m = 0,5$ )

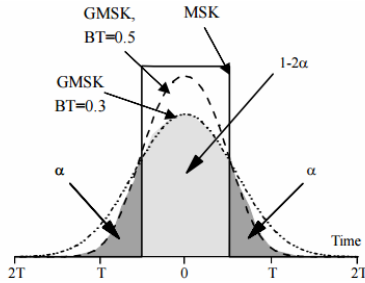


Рис. 5. График частотной характеристики фильтра Гаусса

Использование данного фильтра приводит к сужению спектра (рис. 6), однако вызывает дополнительную межсимвольную интерференцию. Для визуального представления межсимвольной интерференции используют глазковые диаграммы (рис. 7).

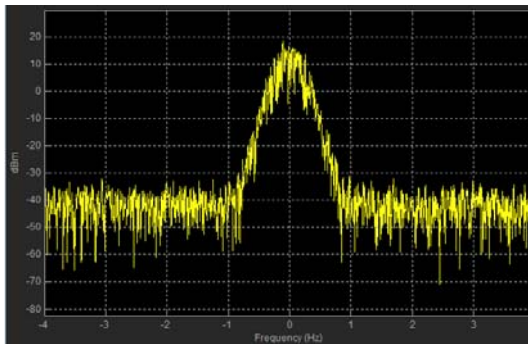


Рис. 6. Спектр сигнала с GMSK-модуляцией

Как видно из рис. 5, использование фильтра Гаусса привело к снижению уровня боковых лепестков. При уменьшении параметра  $BT$  происходит уменьшение боковых лепестков спектра GSMK модулированного сигнала, а также увеличение скорости убывания боковых лепестков спектра сигнала.

### Выводы

Исходя из вышеописанного можно сделать вывод о том, что применение фильтра Гаусса для формирования частотно манипулированного сигнала позволяет сократить уровень боковых лепестков спектра сигнала, однако сглаживание фазовых переходов приводит к межсимвольной интерференции. Значительное увеличение скорости убывания

спектра также можно отнести к преимуществам данного вида модуляции. Данный вид модуляции нашел свою нишу в мобильной связи формата GSM (Groupe Spécial Mobile) [1].

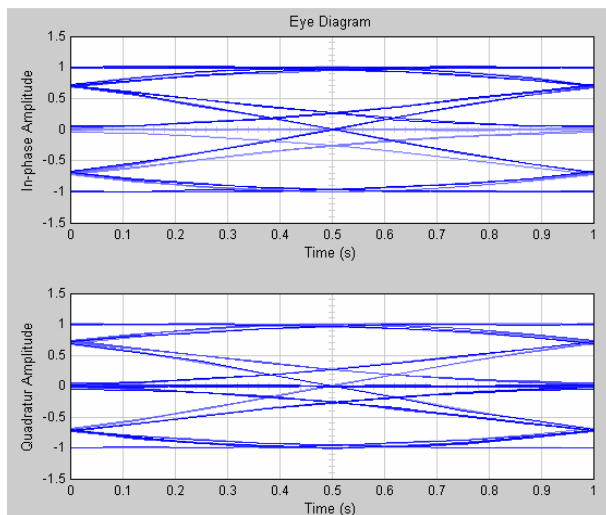


Рис. 7. Глазковая диаграмма GMSH-модулированного сигнала при  $BT = 0,3$

### Список литературы

1. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – Изд. 2-е. – М. : Вильямс, 2007. – 1104 с.
2. MSK-сигналы с гауссовой огибающей (GMSK) [Электронный ресурс] // dsplib.ru. Теория и практика цифровой обработки сигналов [Сайт]. – URL: <http://www.dsplib.ru/content/gmsk/gmsk.html> (дата обращения: 22.10.2015).

### Using filters with Gaussian characteristic for despreader signal

**Abstract.** *The article deals with different variations of FSK signals. In particular FSK, MSK and GMSK. A brief description of each type of manipulation. Presented spectrogram FSK signals for different values of the modulation index. It describes the advantages and disadvantages of systems with GMSK, in particular, shows the spectrum GMSK signal to demonstrate the despreading and increase the rate of decline of the spectral components. To demonstrate the inter-symbol interference, eye diagram GMSK modulated signal.*

**Keywords:** FSK, MSK, GMSK, modulation.

*А. В. Гуцану*, студент

*Е. Я. Емельянова*, студентка

*Е. М. Зайцева*, канд. пед. наук, доц.

E-mail: em\_zaytseva@yahoo.com

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Использование средств связи для организации работы ОАО «РЖД»**

*В статье рассматриваются основные виды проводной и радиосвязи на железнодорожном транспорте, система организации зонной сети поездной радиосвязи, а также структура взаимодействия систем спутниковой связи «Глобстком» и «НордМедиаСтар» с системами мониторинга и безопасности российских железных дорог.*

**Ключевые слова:** радиосвязь, железнодорожный транспорт, виды связи в ОАО «РЖД», система поездной радиосвязи, мониторинг, безопасность.

Железнодорожный транспорт в нашей стране является ведущим видом транспорта, обеспечивающим перевозки на дальние расстояния, так как это экономически выгодно. Для контроля местонахождения поезда используют радиосвязь, которая является важнейшей составляющей в обеспечении управления эксплуатационной работой. В последнее время в связи с повышением скоростей пассажирских поездов возросла роль радиосвязи при обеспечении безопасности движения. Передача на значительные расстояния достигается применением многократной ретрансляции в линиях радиорелейной связи или с помощью спутниковой связи, при этом ретранслятор находится на борту искусственного спутника Земли.

Цифровые системы радиосвязи с применением современных систем комплексной безопасности позволяют автоматизировать процесс управления движением поездов, а также создать системы интервально-го регулирования движения поездов с использованием радиосвязи. Это происходит за счет интеграции всех видов связи в единую сеть. Отсюда следует, что роль радиосвязи на железнодорожном транспорте очень высока.

В ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» ведется подготовка студентов по направлению «Инфокоммуникационные техноло-

гии и системы связи». В рамках дисциплины «История систем мобильной связи» возникла необходимость более подробно рассмотреть вопрос использования средств радиосвязи в работе ОАО «РЖД».

Цель данной работы – изучение и систематизация материалов, представленных в ресурсах сети Интернет по следующим вопросам:

1. Основные виды средств связи, используемых в работе ОАО «РЖД».

2. Система организации зонной сети поездной радиосвязи.

3. GSM-R – единый стандарт связи, применяемый в работе железных дорог.

4. Структура взаимодействия систем спутниковой связи «Глобсатком» и «НордМедиа Стар» с системами мониторинга и безопасности в ОАО «РЖД».

В работе российских железных дорог используются следующие виды проводной связи [1, 3]:

- **поездная диспетчерская** – для переговоров поездного диспетчера с дежурными по станциям, входящим в его диспетчерский круг;

- **поездная межстанционная** – для переговоров дежурных двух соседних раздельных пунктов;

- **постанционная** – для служебных переговоров работников станций между собой и передачи телеграмм на линейные станции в пределах отделения дороги;

- **линейно-путевая** – для переговоров работников дистанции пути;

- **магистральная** – для связи подвижного состава с управлениями дороги и дорог между собой;

- **дорожная** – для служебной связи между управлением дороги и отделениями, крупными станциями, депо и между собой;

- **местная станционная** – для общей служебной связи работников станции;

- **информационная** – для передачи на сортировочную станцию сведений о подходе поездов;

- **энергодиспетчерская** – для связи энергодиспетчера с тяговыми подстанциями и дежурными по станциям участка.

Кроме проводной связи, на железных дорогах используется также радиосвязь:

- **станционная** – для переговоров работников службы движения на станции по вопросам организации перевозочного процесса;

- **поездная** – для переговоров машинистов локомотивов, находящихся на участке с дежурными по станциям и поездным диспетчером;

- **маневровая** – для ведения местных переговоров машинистов локомотивов, технических работников, обслуживающих станцию или узел.

Радиоволны занимают диапазон частот: 151,7125–154,0125 МГц; 154,9875–156,0125 МГц.

Рассмотрим более подробно организацию поездной радиосвязи. Данная система реализуется с использованием аналоговых, цифровых и сочетания аналоговых и цифровых видов радиосвязи и включает в себя линейные и зонные радиосети.

В линейных сетях поездной радиосвязи стационарные радиостанции (базовые станции, ретрансляторы), распределенные вдоль диспетчерского участка железной дороги, соединяются с распорядительной станцией (коммутационным оборудованием) с помощью линейного канала.

Зонные сети поездной радиосвязи организуются на ограниченной территории железнодорожной линии (на железнодорожной станции) без подключения стационарных радиостанций к коммутационному оборудованию.

Схема организации зонной сети поездной радиосвязи представлена на рис. 1.

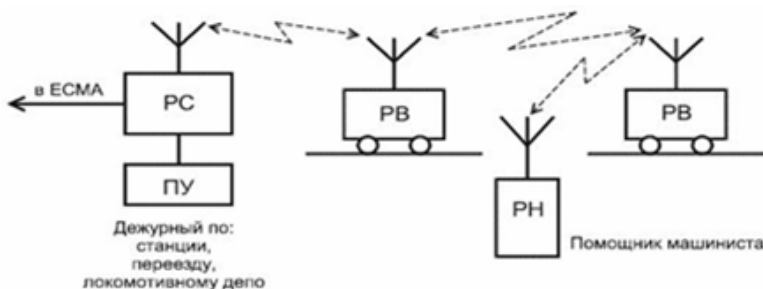


Рис. 1. Схема организации зонной сети поездной радиосвязи: РС – радиостанция стационарная; ПУ – пульт управления; РВ – радиостанция возимая (локомотивная); РН – радиостанция носимая

Центральная станция связи – филиал ОАО «РЖД» (ЦСС) – выступает как единый оператор связи российских железных дорог. Основной задачей ЦСС является обеспечение компании услугами и ресурсами связи (технологической и общего пользования) необходимой функциональности, производительности и по оптимальной себестоимости.

В целях обеспечения требуемой готовности сетей и услуг связи в ЦСС развивается Единая система мониторинга и администрирования сети связи РЖД (ЕСМА). Она обеспечивает мониторинг фактического состояния и управления сетями связи железных дорог в режиме реаль-

ного времени. ЕСМА представляет собой инновационный мощный инструмент управления технологической сетью связи, основанный на интегрированном применении современных телекоммуникационных и информационных технологий.

В настоящее время развитие получил GSM-R (GSM-Railway) – единый стандарт железнодорожной связи, в основу которого положен стандарт подвижной радиосвязи общего пользования GSM, дополненный функциями для железнодорожного транспорта в соответствии со спецификациями проекта EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) и MORANE (Mobile Radio for Railways Networks in Europe) [7]. Финансирование разработки проектов осуществляет ЕС.

Данный стандарт обеспечивает:

- передачу сигнализации ETCS (European Train Control System);
- голосовую радиосвязь и передачу данных в условиях движения со скоростями до 500 км/ч;
- наличие функции группового вызова;
- управление приоритетами вызовов и механизм срочного вызова;
- наличие функциональной адресации в зависимости от местоположения абонента;
- использование специально выделенных полос радиочастот.

Цифровой стандарт GSM-R с частотно-временным разделением каналов имеет восемь временных каналов в полосе 200 кГц. Для системы выделена полоса шириной 4 МГц в диапазоне 876–880 МГц для передачи от подвижной к базовой станции (БС) и 921–925 МГц для передачи от базовой к подвижной станции.

Структура построения GSM-R сети представлена на рис. 2.

В инфраструктуру сетей GSM-R входят следующие элементы:

1. Регистр перемещения РП (VLR) – второе основное устройство, обеспечивающее контроль за передвижением мобильных станций из зоны в зону.

2. Центр аутентификации ЦА (AUC) состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации.

3. Регистр идентификации сети РИС (IN) содержит идентификаторы всех сетей, с которыми обеспечивается роуминг в данной системе.

4. Центр управления и обслуживания ЦУО (ОМС) обеспечивает управление элементами сети и качеством ее работы.

5. Базовая приемо-передающая станция БПС (BTS) обеспечивает радиосвязь в определенной зоне. Контроллер базовой станции КБС (BSC) осуществляет управление распределением каналов, контроль соединения и регулировку их очередности, модуляцию и демодуляцию сигналов и т. д.

6. Центральный коммутатор подвижной связи ЦКП (MSC) обслуживает группу зон и обеспечивает все виды соединений с мобильными станциями.

7. Регистр положения РМП (HLR), в котором хранится та часть информации о местоположении какой-либо мобильной станции, которая позволяет центральному коммутатору доставить вызов.

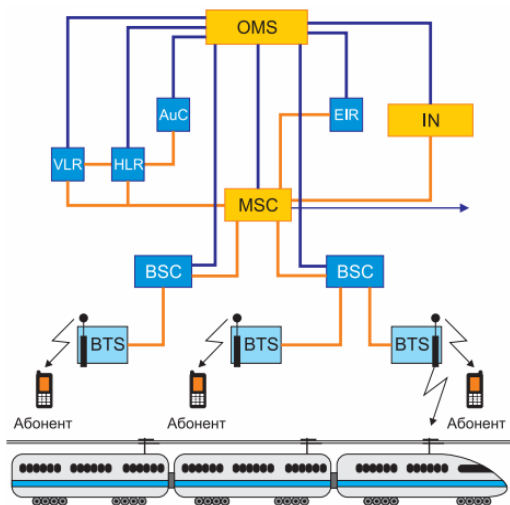


Рис. 2. Структура построения GSM-R сети

В задачу исследования входил поиск взаимодействия систем спутниковой связи «Глобсатком» и «НордМедиа-Стар» с системами мониторинга и безопасности в ОАО «РЖД». Данная структура представлена на рис. 3.

Станция АЗС-1 предназначена для передачи низкоскоростных данных и телефонии, приема программ ТВ/РВХ [4].

АЗС-2 – более высокоскоростная земная станция с дополнительной возможностью предоставления услуг Интернет, приема многопрограммного ТВ/РВ, многоканальной телефонии.

На подвижных объектах АЗС-1 комплектуется модулями ГЛОНАСС/GPS. Для персонала ОАО «РЖД», работающего вне помещений, предусмотрено исполнение АЗС-1 в мобильном варианте.

Наведение и слежение фазированной антенной решеткой за космическим аппаратом осуществляются либо по программе на основе данных ГЛОНАСС/GPS, либо с использованием автоматического коге-



рентного сложения принимаемых сигналов на 16 ветвей пространственного разнесения и переносом фазового распределения с приемной фазированной антенной решеткой на передающую.

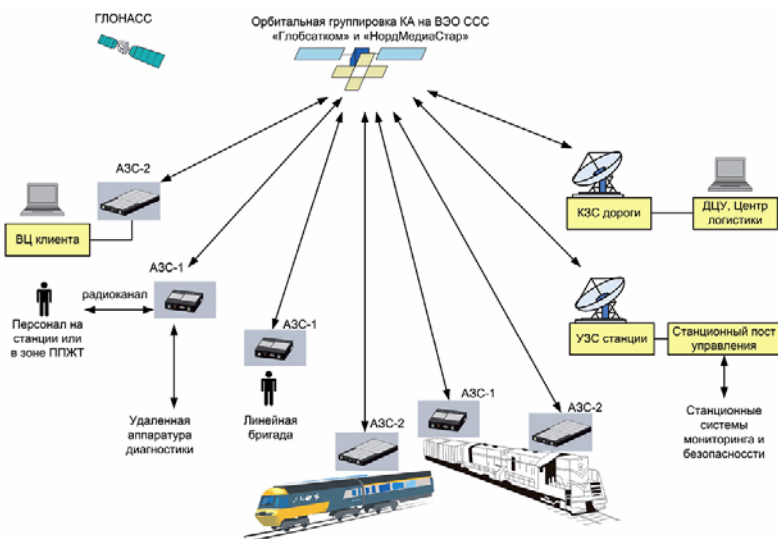


Рис. 3. Структура взаимодействия систем спутниковой связи «Глобсатком» и «НордМедиа-Стар» с системами мониторинга и безопасности в ОАО «РЖД»

Объем одного радиопакета АЗС-2 достаточен для обеспечения качественной передачи фотоснимков, поэтому АЗС-2 могут найти широкое применение в системах обеспечения сохранности перевозимых грузов.

АЗС взаимодействуют с разнообразными датчиками системы мониторинга через адаптеры и цифровые каналы радиодоступа. Информация от датчиков через АЗС поступает в соответствующий центр СПД-М системы мониторинга, а оттуда – к потребителям. По обратному каналу информация поступает на АЗС и соответствующую аппаратуру систем мониторинга (например, команды на изменение режима работы датчиков или контролируемого объекта). АЗС могут также использоваться для обмена речевой информацией на скорости 2,4 кбит/с при достаточно высоком качестве речи.

Центры СПД-М оснащаются узловой земной станцией (УЗС) диапазона 6/4 ГГц с антеннами с диаметром 3,7 м. Количество центров СПД-М в системах спутниковой связи «Глобсатком» определяется решаемыми задачами и, по оценкам для нужд ОАО «РЖД», составляет не менее 260 единиц.

Применение систем спутниковой связи «Глобсатком» и «НордМедиаСтар» в сервисных задачах ОАО «РЖД» позволяет обеспечить:

- периодическое (ситуационное) и непрерывное обучение персонала станций и железных дорог без отрыва от производства;
- организацию сети корпоративного теле- и радиовещания для работников и пассажиров поездов;
- скоростной доступ в Интернет для пассажиров поездов.

В настоящее время используется глобальная система отслеживания перемещения подвижного состава с помощью GSM/GPS [4, 5], включающая все необходимые средства от электронных модулей, устанавливаемых на железнодорожных вагонах, до сервера контроля местоположения. Система Navitron.mobi, созданная на основе оптимального сочетания технологий GSM/GPS предлагает железнодорожной компании полнофункциональное решение задачи контроля перемещения всех грузов и персонала. Поскольку система использует стандартные технологии мобильной связи GSM, ее можно применять на международном уровне. Система позволяет отслеживать перемещение объектов в зоне покрытия сети GSM в реальном времени, а вне зоны покрытия GSM обеспечивает регистрацию местоположения и состояния груза, которое поступит при первой возможности передачи.

Разработка и внедрение систем обеспечения радиосвязи на железных дорогах не стоит на месте. Это перспективная отрасль, поэтому связисты никогда не останутся без работы. Перед ними поставлена задача повышения безопасности движения поездов и сокращения эксплуатационных расходов. Решение этой сложной проблемы невозможно без совершенствования системы управления производственными процессами на железнодорожном транспорте на основе современных достижений автоматики, связи и вычислительной техники. Связисты – это специалисты широкого профиля, практически вечная профессия, они в данной сфере будут востребованы до тех пор, пока человечество не перестанет нуждаться в знаниях и передаче информации.

По результатам проведенного исследования можно обозначить перспективы трудоустройства выпускников кафедры «Радиотехника» и непосредственно по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» в качестве технических специалистов ОАО «РЖД». Результаты проведенного информационного поиска будут использованы в курсе «История систем мобильной связи», а также при проведении профориентационной работы с выпускниками школ и средних специальных учебных заведений.

## Список литературы

1. Официальный сайт ОАО «РЖД» [Сайт]. – URL: <http://www.rzd.ru/> (дата обращения: 20.10.2015).
2. Международная система мониторинга транспортных средств нового поколения [Сайт]: – URL: <http://navitron.mobi/index.php/ru/main/> (дата обращения: 21.10.2015).
3. *Игнатова, Н. Д.* Телекоммуникационные технологии, применяемые в сети связи ОАО «РЖД» // Т-Comm – Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7. – № 10. – С. 56–58.
4. *Камнев, Е.* Использование спутниковых систем связи «Глобсатком» и «НордМедиаСтар» для решения задач ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] / Е. Камнев, А. Белов, В. Бобков // Connect! Мир связи. – 2009. – № 3. – URL: <http://www.connect.ru/article.asp?id=9255> (дата обращения: 23.10.2015).
5. *Слюняев, А. Н.* Будущее технической радиосвязи [Электронный ресурс] // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 5. – С. 2–4. – URL: <http://static.scbist.com/scb/asi/Avt-2007-5.pdf> (дата обращения: 25.10.2015).
6. *Розенберг, Е. Н.* Инновационные спутниковые технологии на службе безопасности движения поездов // Наука и транспорт. – 2007. – Спецвыпуск. – С. 58–59. – URL: <http://rostransport.com/transportrf/pdf/10-11/58-59.pdf> (дата обращения: 25.10.2015).
7. *Одинский, А. Л.* Развитие стандарта GSM-R для нужд ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 12. – С. 30–31. – URL: <http://scbist.com/xx3/7962-razvitie-standarta-gsm-r-dlya-nuzhd-oao-rzhd.html> (дата обращения: 28.10.2015).

## Using communication tools for organizing the work of JSC «Russian Railways»

**Abstract.** *The article considers the main kinds of wire and radio communication on railway transport, system of organization of a zone network train radio communication and interaction structure of satellite communication systems «Globsatcom» and «NordMediaStar» with monitoring systems and security of the Russian Railways.*

**Keywords:** radio communication, railway transport, types of communication in the JSC «Russian Railways» train radio communication system, monitoring, security.

Д. Г. Емелина, студентка  
Ю. Т. Загидуллин, ст. преподаватель  
Ф. М. Ермаков, студент  
E-mail: dzurap@istu.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Выбор зондирующего сигнала для оценки канала связи

*Надежность и качество систем передачи данных, работающих в коротковолновом диапазоне, в первую очередь зависят от условий распространения сигналов в ионосферной радиолинии. Для оценки состояния канала связи представлен зондирующий сигнал, сформированный на основе метода минимизации пик – фактора сигнала с OFDM. Основным критерием выбора конкретного типа сигнала является комбинация его спектральной и энергетической эффективности.*

**Ключевые слова:** канал связи, зондирующий сигнал, OFDM, пик-фактор.

К наиболее важным особенностям ионосферной радиолинии, которые накладывают ограничения на использование высокоскоростных и широкополосных систем КВ-радиосвязи, относятся: многолучевость, обусловленная слоистой структурой ионосферы, частотные и временные вариации, обусловленные зависимостью показателя преломления ионосферы от частоты и времени [4]. Данные эффекты могут привести к значительным трудностям при работе систем передачи информации в КВ-канале.

В связи с этим для повышения качества работы таких систем необходима постоянная адаптация к условиям распространения в канале связи. Оценить эти условия помогает оперативная диагностика с использованием зондирующих сигналов. Одним из перспективных направлений исследования в данном вопросе является использование широкополосных сигналов с большой базой [3]. Такие сигналы позволяют получать точные оценки параметров канала связи в условиях действия мощных помех, так же они обладают высокой разрешающей способностью по времени и частоте и сравнительно низкой спектральной плотностью.

Исходя из вышеизложенного целью настоящей работы является выбор формы зондирующего сигнала, прием и обработка которого

позволят оценить условия распространения в канале связи в заданном частотном диапазоне.

Основным критерием выбора конкретного типа сигнала является комбинация его спектральной и энергетической эффективности. По причинам технического характера в настоящее время при создании систем частотного обеспечения декаметровая радиосвязи отдано предпочтение сигналам с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) [2], поскольку полоса частот ЛЧМ-сигнала не связана с его длительностью. Мерой энергоэффективности может служить значение пик-фактора

$$PAPR = 10 \lg \frac{\max(|S_k|^2)}{E(|S_k|^2)}, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где  $S_k$  –  $k$ -й комплексный отсчет сигнала, оператор  $E$  вычисляет среднее значение из выборки. Для сигналов с ЛЧМ этот параметр находится на уровне 3 дБ. Также возможно принять во внимание в качестве зондирующего еще один широкополосный сигнал – сигнал с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM). Основными преимуществами данного типа модуляции являются простота аппаратной реализации, также высокая спектральная эффективность. Однако применение сигнала с OFDM в качестве зондирующего является энергетически неэффективным, поскольку он обладает большим (порядка единиц – десятков дБ) значением пик-фактора. Данный параметр имеет немаловажное значение, напрямую определяя границы динамического диапазона устройств АЦП, ЦАП и выходного усилителя мощности в системе передачи данных.

Решением этой проблемы является метод минимизации пик-фактора сигнала с OFDM согласно [5]. Суть представленного метода заключается в получении дискретной фазовой характеристики сигнала с OFDM путем аппроксимации исходного идеального [5] ЛЧМ-сигнала дискретными комплексными отсчетами в частотной области.

ФЧХ ЛЧМ-сигнала в соответствии с [1] определяется как

$$\Phi(\omega) = \frac{-(\omega - \omega_0)^2 \cdot T_c}{2 \cdot \Delta\omega} + \operatorname{arctg} \frac{S(X_1) + S(X_2)}{C(X_1) + C(X_2)}, \quad (2)$$

где  $C(X)$ ,  $S(X)$  – интегралы Френеля;  $\omega_0$  – центральная частота в спектре сигнала;  $\Delta\omega$  – девиация частоты.

При переходе к дискретной частоте  $\omega \rightarrow k \cdot f_s$ , где  $f_s$  – частота дискретизации, формула (2) примет вид

$$\Phi(kf_s) = \frac{-\pi \cdot (kf_s)^2 \cdot (1/f_s)}{2 \cdot N \cdot kf_s} = \frac{-\pi \cdot k^2}{2N}, \quad (3)$$

где  $N$  – число поднесущих;  $k$  – номер поднесушей.

В качестве варианта интерпретации данного метода представлена формула (4). Формирование начальных фаз в каждом символе OFDM осуществляется по квадратичному закону распределения фаз ЛЧМ-сигнала. Минимальным пик-фактором обладает сигнал, вид распределения начальных фаз которого описывается следующим выражением:

$$\varphi_k = \frac{-\pi \cdot k^2}{N}. \quad (4)$$

Структурные схемы процесса формирования сигнала представлены на рис. 1 и 2.

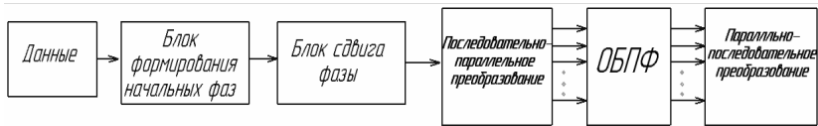


Рис. 1. Структурная схема формирования отдельного символа зондирующего сигнала

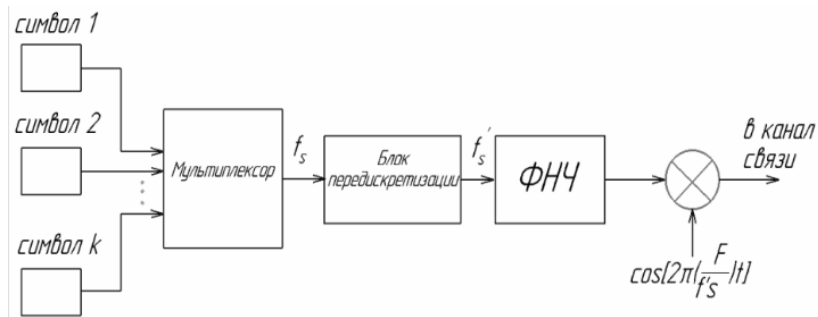


Рис. 2. Структурная схема формирования зондирующего сигнала

В качестве обоснования полученных теоретических зависимостей был сформирован как узкополосный, так и широкополосный зондирующий сигнал. Сигнал представляет собой пачку из  $k$  символов, сформированных согласно рис. 1. Пачка символов создается для усреднения результатов, чтобы иметь возможность получить верную

картину оценки искажений сигнала. Далее пачка символов подвергается интерполяции: осуществляется передискретизация сигнала с увеличением частоты дискретизации с  $f_s$  до  $f_s'$  и его фильтрация, что показано на рис. 2. Интерполяция при формировании зондирующего сигнала необходима для переноса его спектра на более высокую несущую частоту. В качестве ФНЧ необходимо использовать такой фильтр, ФЧХ которого линейна, поскольку фазовые искажения при когерентном приеме в зондирующем сигнале недопустимы. В данном случае применен ФНЧ с оконной функцией Кайзера, поскольку она позволяет получить наименьший пик-фактор сигнала. После фильтрации зондирующий сигнал переносится на необходимую несущую частоту.

В табл. 1 и 2 соответственно указаны параметры узкополосного и широкополосного зондирующего сигнала при различном числе поднесущих  $N$ .

**Таблица 1. Параметры узкополосного зондирующего сигнала**

| Параметры сигнала                                      | $N = 64$ | $N = 256$ |
|--|----------|-----------|
| $L$ – число импульсов в пачке                          | 10       | 10        |
| $f_{SI}$ , кГц – частота дискретизации                 | 3        | 3         |
| $T$ , мс – длительность импульса сигнала               | 21,3     | 85,3      |
| $\Delta f$ , Гц – частотный интервал между поднесущими | 46,876   | 11,7      |
| $PAPR$ , дБ – пик-фактор сигнала                       | 0,86     | 0,83      |

**Таблица 2. Параметры широкополосного зондирующего сигнала**

| Параметры сигнала                                      | $N = 256$ | $N = 2048$ | $N = 16384$ |
|--|-----------|------------|-------------|
| $L$ – число импульсов в пачке                          | 10        | 10         | 10          |
| $f_{SI}$ , кГц – частота дискретизации                 | 192       | 192        | 192         |
| $T$ , мс – длительность импульса сигнала               | 1,33      | 10,66      | 85,3        |
| $\Delta f$ , Гц – частотный интервал между поднесущими | 750       | 93,75      | 11,7        |
| $PAPR$ , дБ – пик-фактор сигнала                       | 0         | 0          | 0           |

Из представленных данных видно, что с увеличением числа поднесущих разрешающая способность зондирующего сигнала по времени увеличивается.

Стоит отметить, что разработанный сигнал по факту является ЛЧМ-сигналом, наглядно это отображает рис. 4, на котором представлен его спектр в узкой полосе частот. Притом что с точки зрения энергоэффективности получен сигнал с достаточно хорошими показателями, с точки зрения частотной адаптации невозможно гибко изменять рабочую полосу, поскольку необходимо использовать все поднесущие сигнала. Также одним из основных недостатков данного сигнала явля-

ется его характерный спектр, эта особенность ЛЧМ-сигналов исключает их применение для систем передачи данных с повышенной скрытностью.

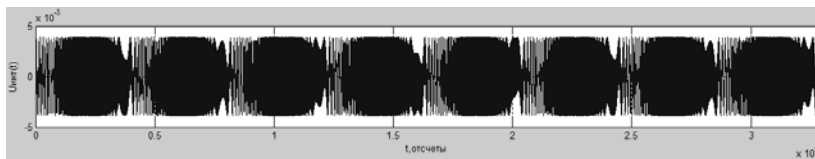


Рис. 3. Сформированный узкополосный зондирующий сигнал при числе поднесущих  $N = 256$

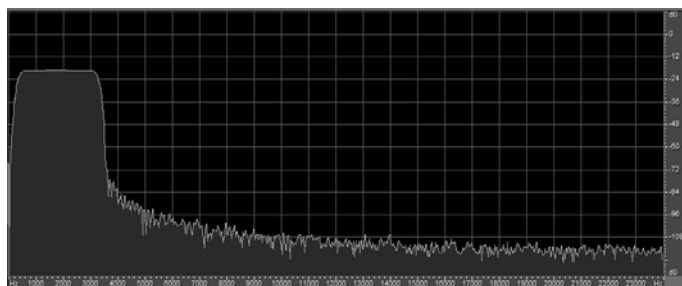


Рис. 4. Спектр узкополосного зондирующего сигнала при числе поднесущих  $N = 256$

В качестве сигнала, лишенного данных недостатков, может выступать сигнал с OFDM, сформированный на основе последовательности Голя – Рудина – Шапиро. На рис. 5 показана последовательность длиной 64 элемента, созданная с использованием двоичной последовательности  $L = [-1, 1, -1, -1]$ , пунктиром отделены повторяющиеся части последовательности, каждая из которых состоит из 16 отсчетов [2].

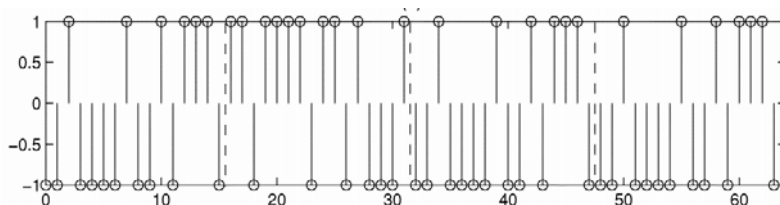


Рис. 5. Пример последовательности Голя – Рудина – Шапиро



Такой сигнал, в отличие от ЛЧМ, имеет равномерный спектр, то есть отсутствуют явно выраженные изменения частоты, однако энергетически данный сигнал проигрывает представленному выше, его пик-фактор в несколько раз больше, порядка 2,57 дБ.

Проделанная работа позволяет сделать следующие выводы:

1) Разработан энергетически и спектрально эффективный сигнал для зондирования, сформированный как OFDM и имеющий распределение начальных фаз каждого символа по закону изменения фазы ЛЧМ-сигнала. При ширине полосы 3 кГц и числе точек БПФ  $N = 64$  пик-фактор равен 0,86 дБ, при  $N = 256$  – пик-фактор 0,83 дБ; при ширине полосы 192 кГц – пик-фактор равен нулю.

2) В качестве альтернативы полученному ЛЧМ-сигналу, обладающему характерным спектром, необходимо рассмотреть сигналы, которые имеют равномерный спектр, для возможности скрытной передачи данных. Одним из таких сигналов является сигнал с OFDM, созданный на основе последовательности Голея – Рудина – Шаapiro. Однако данный сигнал энергетически уступает разработанному ЛЧМ-сигналу, поскольку значение его пик-фактора находится на уровне 2,57 дБ.

3) Перспективным направлением развития данного исследования является комплексное сравнение характеристик представленных сигналов и, с учетом вышеизложенных достоинств и недостатков, выбор одного из них для создания системы передачи данных с адаптацией к изменяющимся условиям в КВ-канале.

### Список литературы

1. *Баскаков, С. И.* Радиотехнические цепи и сигналы. – 3-е изд. – М. : Высш. шк., 2000. – 459 с.

2. *Бычков, В. Е.* Особенности применения кодов Голея в радиолокации / В. Е. Бычков, О. Д. Мрачковский, В. И. Правда // Известия высших учебных заведений. – 2008. – Т. 51. – № 4. – С. 49–55.

3. Зондирование ионосферных каналов высокочастотной связи с поверхности земли / В. А. Иванов, Д. В. Иванов, Н. В. Рябова, А. В. Мальцев, И. Е. Царев // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2008. – № 2. – С. 3–20.

4. *Климов, И. З.* Оценка качества коротковолнового канала с использованием широкополосных сигналов / И. З. Климов, А. Н. Копысов, А. М. Чувашов // Мат. V ВНК. – Муром : ИПЦ ВлГУ, 2012. – С. 89–93.

5. *Недопекин, А. Е.* Разработка алгоритмов автоматической обработки нестационарных КВ-сигналов с линейной частотной модуляцией: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук (21.02.12) / ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет». – 20 с.

6. *Рухлин, С. Н.* Вопросы формирования и применения OFDM сигналов в современных системах связи и телекоммуникаций // III Всероссийские Ар-

мандовские чтения [Электронный ресурс]: Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике / Мат. IV Всерос. науч. конф. (Муром, 25–27 июня 2013 г.). – Муром : Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013. – С. 201–207.

## **Choice of the pilot signal for the communication channel assessment**

**Abstract.** *Reliability and quality of the data transmission systems, working in the short-wave band, first of all depend on propagation conditions of signals in the ionospheric radio line and countermeasures environment. The pilot signal built on basis of peak-factor minimization method is presented for assessment of communication channel state. The main criterion of signal type choice is combination of its spectral and power efficiency.*

**Keywords:** communication channel, pilot signal, OFDM, peak-factor (PAPR).

А. А. Емельянов, магистрант

E-mail: ant93@go.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

О. В. Меркушев, зав. лабораторией

Институт права, социального управления и безопасности  
Удмуртский государственный университет

## **Передача данных в беспроводных сетях IEEE 802.11: угрозы безопасности и методы защиты**

*Рассматриваются основные угрозы безопасности передачи информации в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi). Приводятся меры защиты информации от рассматриваемых угроз, реализуемые на физическом, канальном и транспортном уровнях сетевой модели OSI. Рассматриваются алгоритмы обеспечения безопасности WLAN (WEP, WPA, WPA2), даются их краткие характеристики, достоинства, недостатки; приводятся рекомендации по выбору подходящего алгоритма.*

**Ключевые слова:** WLAN, Wi-Fi, WEP, WPA, WPA2, PKI, угроза, защита информации, безопасность, сертификат.

Постоянный доступ к информации – один из факторов повышения производительности рабочих процессов многих компаний, т. к. для решения большинства задач необходимо получить большой объем информации в наиболее кратчайшее время. При этом многим компаниям требуется обеспечить доступ к сети большому числу пользователей (сотрудники, партнеры, клиенты, гости). Наиболее часто применяемый способ решения такой задачи – это создание корпоративной беспроводной локальной сети (*Wireless Local Area Network, WLAN*) стандарта IEEE 802.11 Института инженеров по электротехнике и электронике (*IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers*), более известной как Wi-Fi.

**Wi-Fi** – бренд компании Wireless Ethernet Compatibility Alliance (*Wi-Fi Alliance*), марка беспроводных сетей, в основе которых лежит стандарт IEEE 802.11. Сам альянс включает в себя более 320 мировых производителей вычислительной техники и занимается развитием беспроводных сетей 802.11 [1].

**IEEE 802.11** – серия стандартов, описывающих взаимодействие на канальном уровне устройств в беспроводных сетях на частотах 2,4 – 60 ГГц.

Базовый стандарт IEEE 802.11 определяет обязательную поддержку скоростей 1Мб/с и 2Мб/с.

Массово применяются следующие стандарты IEEE 802.11 [2]:

- **IEEE 802.11a.** Частоты: 5,170...5,905 ГГц; скорости: 6, 12, 18, 24, 36, 48 и 54 Мб/с. Стандарт постепенно уходит с рынка.

- **IEEE 802.11b.** Частоты: 2,412...2,484 ГГц; скорости: 5,5 Мб/с и 11 Мб/с.

- **IEEE 802.11g.** Частоты: 2,412...2,484 ГГц; скорости: 5,5, 6, 9, 11, 12, 18, 22, 24, 33, 36, 48 и 54 Мб/с.

- **IEEE 802.11n.** Частоты: 2,412...2,484 ГГц и 5,170...5,905 ГГц (в России запрещены частоты 5,350...5,650 ГГц); скорости: до 600 Мб/с с четырьмя MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*) [3].

- **IEEE 802.11ac.** Частоты: 5,170...5,905 ГГц; скорости: до 6,77 Гб/с (при восьми MU-MIMO-антеннах).

Беспроводные сети функционируют на основе беспроводных базовых станций – беспроводных точек доступа (*Wireless Access Point, WAP*), к которым подключаются клиентские мобильные устройства, оснащенные 802.11-совместимыми адаптерами беспроводной сети.

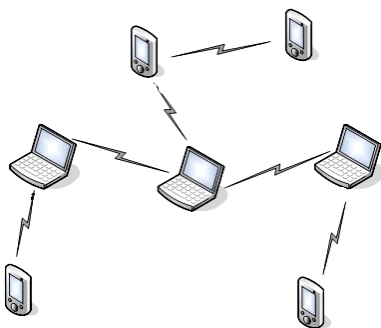


Рис. 1. Одноранговая ad-hoc-сеть

Существует две основные топологии WLAN: **ad-hoc-сети** и так называемые базовые и расширенные зоны обслуживания (**инфраструктурные сети**). В ad-hoc-сетях (рис. 1) создаются одноранговые соединения типа «точка-точка». В этом случае беспроводная точка доступа не применяется, а устройства устанавливают связь с помощью своих беспроводных 802.11-интерфейсов.

В отличие от ad-hoc-сети, в инфраструктурной сети (рис. 2) устройства подключаются к беспроводной точке доступа, которая управляет подключениями и трафиком до каждого клиента, предоставляя равноправный доступ к сети. Так создается иерархия: точка доступа является звеном, находящимся в топологии выше клиентских устройств.

Точка доступа в радиусе своей зоны действия вещает свой SSID (*Service Set Identifier*) – идентификатор беспроводной сети. Клиенты

могут подключаться к точке доступа по ее SSID. Несколько точек доступа могут быть объединены в одну сеть с одним SSID, тогда клиенты могут подключаться к одной и той же сети, используя прежние настройки, а также перемещаться внутри этой сети.

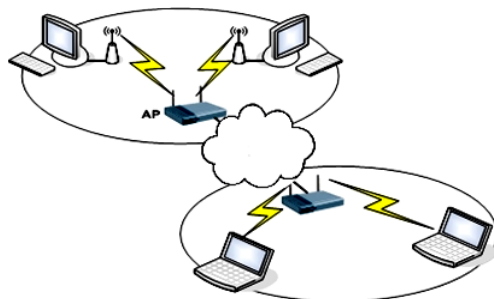


Рис. 2. Объединение WLAN-сетей

**Применение беспроводных сетей дает массу преимуществ** перед традиционными проводными сетями. К ним относятся:

- быстрое создание, высокая масштабируемость сети, что позволяет в максимально короткие сроки организовать сеть там, где невозможно проложить кабельную сеть;
- низкие затраты на создание и расширение сети;
- повышение мобильности беспроводных устройств;
- позволяют реализовать принцип BYOD (*Bring Your Own Device*, дословно «*Принесите Ваше собственное устройство*»), позволяя тем самым подключаться к сети любым устройствам;
- поддержка любого устройства, оснащенного 802.11-совместимым адаптером: ноутбуки, смартфоны, стационарные компьютеры, IP-камеры, точки доступа и прочие устройства.

**Беспроводным сетям присущи также некоторые недостатки:**

- деление скорости передачи информации между всеми подключенными устройствами;
- большой (30–40 %) объем служебной информации в трафике, из-за чего также снижается общая скорость передачи [4];
- сильное влияние окружающей архитектурной и электромагнитной обстановки;
- необходимость в тщательной проработке вопросов безопасности;
- неконтролируемый характер среды передачи: зона действия ограничивается лишь мощностью сигнала от каждой точки доступа, а не

фактическим расположением места подключения к сети, как в проводных сетях.

Почти все недостатки могут быть закрыты применением нового оборудования, поддерживающего последние стандарты связи, а также четким планированием сетевой инфраструктуры.

Из перечисленных недостатков зачастую наиболее критичным для корпоративной сетевой инфраструктуры является вопрос обеспечения безопасности беспроводной сети. Сетевым администраторам необходимо обеспечить защиту как самой сети, так и пользователей, подключающихся к ней.

Одной из особенностей беспроводных сетей, из-за которой необходимо наиболее тщательно прорабатывать вопросы обеспечения безопасности передачи информации, является неуправляемость среды передачи информации. В отличие от кабельных подключений, в которых перехват информации возможен только при наличии физического подключения к сети (не считая атак извне), то WLAN от этого незащищены. Если кабельные подключения защищены либо межсетевыми экранами, либо архитектурой и охраной здания, то беспроводные сети обладают только одним физическим механизмом защиты – это уровень сигнала. Как следствие, аппаратура злоумышленников, занимающихся перехватом и анализом трафика, трудно обнаружима (чаще не обнаружима). При этом оборудование, которое используется злоумышленниками почти всегда является стандартной носимой электроникой – ноутбуки и смартфоны, поэтому анализ трафика может быть незаметно начат и в любой момент незаметно прекращен.

Помимо атак на WLAN возможна также атака на клиентское устройство – в этом случае пользователя можно подключить на нелегальную точку доступа и накапливать данные, передаваемые им [5].

В целом можно привести следующий **перечень угроз безопасности беспроводных сетей**:

1) **Внедрение несанкционированных точек доступа.** В роли таких точек доступа могут быть отдельные аппаратные точки доступа или же программные точки доступа на базе функционала операционных систем носимого оборудования (ноутбуки, смартфоны).

2) **Неуправляемый и нефиксированный характер радиосвязи.** Одно кабельное соединение невозможно быстро заменить на другое (кроме случая, когда имеется второй кабель), в то время как в функционале операционных систем многих устройств предусмотрено автоматическое соединение с ближайшей подходящей сетью. Так можно выполнить атаку MITM (*Man-in-The-Middle*, «Человек посередине»): устройство пользователя может подключиться к «серой» точке досту-

па, а атакующий сможет выполнять анализ и перехват трафика пользователя [5].

3) **Уязвимости самих сетей и устройств.** Неверно настроенные параметры аутентификации и шифрования трафика на точках доступа, неконфигурированные беспроводные клиенты, применение WEP-шифрования, не обеспечена физическая защита точек доступа и сетевого оборудования, устаревшее микропрограммное обеспечения сетевого оборудования и программное обеспечение клиентских устройств.

4) **Утечка данных из проводной сети.** Если точка доступа настроена в режиме моста и неверно сегментированы VLAN (*Virtual Local Area Network*), то она может передавать широкоэвещательный трафик из проводной сети [5].

5) **Подозрительный трафик.** Если в организации предусмотрены отключения беспроводных сетей на нерабочее время, то факт появления трафика в этих сетях в такое время уже может быть основанием для начала разбирательства. При работе точки доступа на скоростях 1 Мб/с или 2 Мб/с увеличивается область распространения сигнала, поэтому подключения на таких скоростях тоже могут дать тревожный сигнал.

6) **Нарушение работы.** Окружающая электромагнитная обстановка может стать причиной для нарушения функционирования сети. Соседние точки доступа, вещающие на одинаковых каналах, различные помехи от другой техники или подавителей сигнала будут негативно влиять на работу беспроводной сети вплоть до полного отказа, что может быть использовано при организации DoS-атак (*Denial of Service, Отказ в обслуживании*).

Многие из перечисленных выше проблем безопасности могут быть достаточно просто решены различными способами: применением оборудования, поддерживающего новые стандарты безопасности; ведением мониторинга сетевой активности по всем подключениям, в том числе обнаружение подозрительной активности; проверкой состояния всей сетевой инфраструктуры; своевременным обновлением микропрограммного обеспечения всех устройств в сети.

В общем случае **защита WLAN** может быть обеспечена механизмами на трех уровнях сетевой модели OSI (ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99):

1) **На физическом уровне модели OSI.** Установка подавителей сигнала и отключение вещания SSID. В первом случае сигнал будет распространяться только в зоне, ограниченной подавителями, но этот способ потребует высоких финансовых затрат. Во втором случае подключение к сети можно выполнить, только указав имя сети (SSID),

однако имя сети может быть получено после анализа пакетов в зоне вещания точки доступа.

2) **На канальном уровне модели OSI.** Механизмы контроля доступа, основанные на «белом» или «черном» списке MAC-адресов, однако этот механизм не является механизмом шифрования.

3) **На транспортном уровне модели OSI.** Защита самих данных осуществляется на транспортном уровне с помощью различных протоколов безопасности (WEP, WPA-PSK/Enterprise, WPA2-PSK/Enterprise).

Наиболее эффективно защита данных в WLAN может быть обеспечена применением определенных методов аутентификации и криптозащиты.

Существует несколько **алгоритмов обеспечения безопасности беспроводных сетей IEEE 802.11:**

1) **Открытые системы без проверки подлинности.** Шифрование не используется, нет механизмов контроля доступа, не отключено широковещание SSID. В основном присутствуют в общественных местах. С точки зрения безопасности не имеют смысла, поскольку с помощью соответствующего программного обеспечения позволяют получить передаваемые данные в открытом виде.

2) **Системы без криптозащиты, но с механизмами базовой защиты.** Ограничение доступа к сети на физическом и канальном уровнях: механизмы контроля доступа по списку MAC-адресов, отключение широковещания SSID. Контроль доступа по MAC-адресам является довольно хорошим способом защита сети от несанкционированного подключения, однако требует прямого участия администратора в управлении списком доступа. Отключение широковещания SSID позволяет разрешить подключаться к сети только пользователям, знающим данный SSID. Однако имя сети может получено несанкционированными пользователями после анализа передаваемого трафика.

3) **Системы с WEP-алгоритмом обеспечения безопасности [4].** Протокол WEP (*Wired Equivalent Privacy*) является первым протоколом обеспечения безопасности передачи данных в беспроводных сетях. С 2004 года считается устаревшим, поскольку в нем выявлены уязвимости, позволяющие злоумышленнику провести атаку за максимум пару часов. Основывается на поточном шифре RC4, недостатки которого и позволяют проводить успешно атаки на сети, использующие WEP-шифрование.

4) **Системы с алгоритмом безопасности WPA [6].** WPA (*Wi-Fi Protected Access*) – алгоритм безопасности для защиты от неавторизованного доступа, представляющий собой комбинацию технологий EAP (*Extensible Authentication Protocol, Расширяемый Протокол Аутентифи-*



фикации), TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol, Протокол Целостности Временного Ключа*), MIC (*Message integrity codes, Код проверки Целостности Сообщений*) и IEEE 802.1X. Длина ключа шифрования 128 бит вместо 40 бит в WEP. Протокол проверки подлинности EAP используется в кабельных сетях, за счет чего беспроводная сеть совместима с кабельной инфраструктурой. Ключевая особенность протокола IEEE 802.1X состоит в том, что пограничное устройство (коммутатор или точка доступа) до успешной аутентификации будет пропускать через себя только служебный EAPOL-трафик (*EAP-over-LAN*). Большое достоинство WPA в том, что для его поддержки достаточно заменить прошивку оборудования, не меняя аппаратную составляющую. WPA поддерживает два типа аутентификации: PSK (*Pre-SharedKey, Предварительно Выданный Ключ*) и Enterprise (*Корпоративный*). PSK позволяет подключаться к сети до тех пор, пока не будет заменен ключ на точке доступа. Enterprise подразумевает ведение AAA-сервером (*“Authentication, Authorization, Accounting”, “Аутентификация, Авторизация, Учет”*) базы учетных данных и политики предоставления доступа к сети. Ввиду того, что в основе данного алгоритма безопасности (точнее в его части – TKIP) лежит алгоритм шифрования RC4 (хотя и дополненный вспомогательными средствами, но имеющий недостатки), был принят новый стандарт WPA2.

5) **Системы с алгоритмом безопасности WPA2. WPA2-Personal** [7]. Описан в IEEE 802.11i. В WPA2 вместо TKIP используется протокол блочного шифрования с кодом аутентичности сообщения (*MIC, Message Integrity Code*) и режимом сцепления блоком и счетчика (*CCMP, CounterModewithCipherBlockChainingMessageAuthenticationCodeProtocol*). CCMP использует алгоритм шифрования AES (вместо RC4 в протоколе TKIP алгоритма WPA). WPA2 поддерживает также два режима аутентификации: WPA2-Personal (или WPA2-PSK) и WPA2-Enterprise. В WPA2-Personal из парольной комбинации создается ключ длиной 256 бит (он же PSK). С помощью PSK и SSID создается главный парный ключ (*Pairwise Master Key, PMK*), с помощью него проводится четырехстороннее квитирование и создается сессионный ключ (*Pairwise Transient Key, Парный Временный Ключ*), на котором уже и проводится отправка данных между клиентским устройством и точкой доступа. Для данного способа аутентификации также немаловажен вопрос распространения парольной комбинации, из-за чего он может быть применен только в малых сетях. Он также не решает вопроса идентификации подключающегося пользователя. Для больших организаций эффективным решением этого вопроса является внедрение аутентификации WPA2-Enterprise.

б) **Системы с алгоритмом безопасности WPA2. WPA2-Enterprise** [6]. Аутентификация по WPA2-Enterprise является самым подходящим решением для корпоративных сетей. Здесь отсутствует необходимость в передаче парольной фразы каждому пользователю, при этом нет необходимости также и в ее периодической смене. Аутентификацию можно проводить на основе некоторой учетной информации о клиенте: учетная запись с парой логин/пароль, цифровой сертификат или одноразовый пароль [4]. Для реализации проверки подлинности по данному алгоритму необходимо, чтобы устройства уровня доступа к сети (точки доступа) и клиентское оборудование поддерживало протокол IEEE 802.1X “Port-Based Network Access Control” (*Контроль доступа к сети на основе порта*). Также необходим некоторый AAA-сервер, который разрешает или запрещает точке доступа подключить клиентское устройство к сети. В свою очередь точка доступа и AAA-сервер должны поддерживать протокол RADIUS (*Remote Authentication in Dial-In User Service, Служба Удаленной Аутентификации Дозванивающихся Пользователей*). Данный алгоритм также требует наличия одного из трех компонентов: либо базы всех пользователей (с их логинами и паролями), либо системы генерации одноразовых паролей (например, SMS-паролей или аппаратных генераторов), либо системы создания и обработки цифровых сертификатов (инфраструктуры открытых ключей – PKI, Public Key Infrastructure).

При выборе одного из алгоритмов обеспечения безопасности передачи данных в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11 администраторы сети, занятые вопросами безопасности, должны руководствоваться характеристиками корпоративной сети, потребностями организации. Тем не менее алгоритм WEP настоятельно не рекомендуется к использованию многими авторами ввиду его крайней слабости при текущем уровне производительности современного оборудования. Алгоритм WPA позволит усилить защиту беспроводных сетей, однако он был создан как переходный алгоритм от WEP к более новому, использует алгоритм шифрования RC4, имеющий недостатки и поэтому также не рекомендуется различными авторами.

Несмотря на кажущуюся сложность реализации, алгоритм безопасности WPA2-Enterprise при верном и продуманном проектировании в настоящее время предоставляет наиболее надежные механизмы защиты как беспроводных сетей, так и их пользователей. При этом по состоянию на март 2015 года применение WPA2-Enterprise совместно с системой генерации и обработки цифровых сертификатов (инфраструктурой открытых ключей) является наиболее безопасным способом защиты беспроводных сетей [8].

## Список литературы

1. *Wi-Fi Alliance. Member Companies* [Электронный ресурс] // Wi-Fi Alliance [Сайт]. – URL: <http://www.wi-fi.org/who-we-are/member-companies> (дата обращения: 01.11.2015).
2. *Kraemer B. [u др.]. IEEE 802.11-2012 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications* [Электронный ресурс] // The Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association [Сайт]. – URL: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf> (дата обращения: 01.11.2015).
3. Об утверждении Правил применения оборудования радиодоступа. Часть I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц: приказ Министерства связи и массовых коммуникаций России от 14 сентября 2010 г. № 124 [Электронный ресурс] // Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Сайт]. – URL: <http://minsvyaz.ru/common/upload/pr124-10.pdf> (дата обращения: 01.11.2015).
4. Беспроводные сети Wi-Fi. Электронный курс – М.: ИНТУИТ, 2007 [Электронный ресурс] / А. В. Пролетарский, И. В. Баскаков, Д. Н. Чирков [и др.] // Национальный открытый университет «ИТУИТ» [Сайт]. – URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/1004/202/info> (дата обращения: 01.11.2015).
5. *Бандурян, А.* Анализ угроз для беспроводных сетей // Компьютерное обозрение. – 2010. – №12, [Электронный ресурс] // Компьютерное обозрение [Сайт]. – URL: [http://ko.com.ua/analiz\\_ugroz\\_dlya\\_besprovodnyh\\_setej\\_49014](http://ko.com.ua/analiz_ugroz_dlya_besprovodnyh_setej_49014) (дата обращения: 01.11.2015).
6. *Гордейчик, С. В.* Безопасность беспроводных сетей / С. В. Гордейчик, В. В. Дубровин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – С. 114–119.
7. *Балк, Ф.* Азы протокола WPA2 // Сети и системы связи. – 2010. – № 6 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.ccc.ru/magazine/depot/06\\_10/read.html?0501.htm](http://www.ccc.ru/magazine/depot/06_10/read.html?0501.htm) (дата обращения: 01.11.2015).
8. *Трифонов, Д.* Как взламывают корпоративный Wi-Fi: новые возможности [Электронный ресурс] // Хабрахабр [Сайт]. – URL: <http://habrahabr.ru/company/pt/blog/252055/> (дата обращения: 01.11.2015).

## Data transmission in wireless networks of IEEE 802.11 standard: security threats and protection methods

**Abstract.** *The article discuss the basic threats information transmission in wireless networks of IEEE 802.11 (Wi-Fi) standart can encounter. The author gives some examples of protection measures than can be taken on physical, data-link and transport layers within OSI model. Security algorithms WLAN (WEP, WPA, WPA2) along with their characteristics and choice recommendations are also provided.*

**Keywords:** WLAN, Wi-Fi, WEP, WPA, WPA2, PKI, threat, information security, certificate.

*В. Н. Емельянов*, канд. техн. наук, доц.  
E-mail: em.vl@mail.ru

*М. М. Емельянова*, ст. преподаватель  
E-mail: mariya.m.pavlova@mail.ru

*Е. Л. Зиновьева*, студентка  
E-mail: helen19\_96@mail.ru

*М. Ю. Шамонов*, студент  
E-mail: flybit7@gmail.com

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Анализ методов обнаружения аномалий сетевого трафика**

*В статье представлены общие понятия аномалий в вычислительных сетях. Дана подробная классификация аномалий по причинам их возникновения. Детальным образом представлены основные методы обнаружения аномалий сетевого трафика в вычислительных сетях, описаны достоинства и недостатки каждого из них.*

**Ключевые слова:** сетевой трафик, аномалия, вычислительная сеть, информационная безопасность, сигнатура, вирус.

В связи с активным развитием и использованием инфокоммуникационных технологий появляется необходимость эффективной и надежной передачи данных по каналам связи. Сетевые атаки уже давно стали привычными в современных вычислительных сетях, их быстрое и эффективное выявление – основная задача для любой крупной сети [2, 6]. С достаточно быстро растущей пропускной способностью каналов, а также более быстрым появлением неизвестных атак и вредоносных программ большинство современных систем обнаружения вторжений не могут справиться. Причинами этого может служить то, что:

- многие системы основаны на определении атак, направленных на некоторое выделенное устройство (такие системы не приспособлены к крупным масштабным сетям);

- зачастую методы, на которых основаны системы обнаружения, используют сигнатурный способ анализа данных, из-за чего происходит пропуск неизвестных атак.

Одним из методов обнаружения сетевых атак и вредоносного программного обеспечения (ПО), влияющего на работу вычислительной

сети, является детектирование аномалии трафика [3, 7]. Аномалия в общем случае – это отклонение от нормы либо от общей закономерности в передаваемом трафике. Под данным термином подразумеваются различные виды сетевых атак, в том числе и неизвестные (zero-day attack).

Существуют различные причины появления сетевых аномалий, классифицировать которые можно в порядке, представленном на рис. 1.

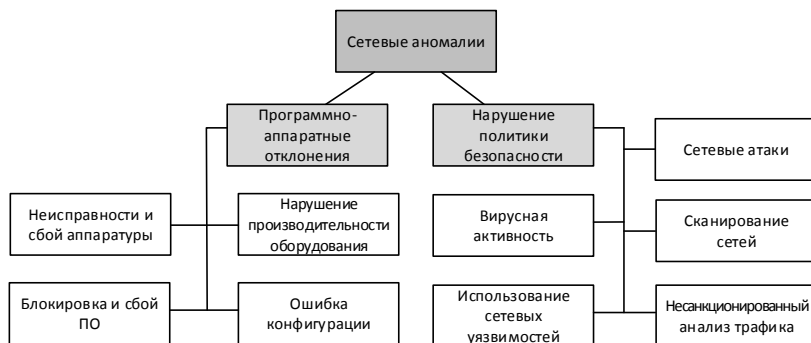


Рис. 1. Классификация причин сетевых аномалий

Для осуществления безопасной работы с данными в вычислительной сети было разработано множество способов и методов обнаружения сетевых аномалий [1, 3–5]. Существуют следующие основные методы выявления атак:

- анализ сигнатур;
- статистический анализ;
- контроль целостности;
- анализ систем состояний;
- графы сценариев атак;
- экспертные системы;
- методы, основанные на спецификациях;
- нейронные сети;
- иммунные сети;
- кластерный анализ;
- поведенческая биометрия.

Метод обнаружения аномалий с помощью *анализа сигнатур* был одним из первых, применявшихся для выявления вторжения в вычислительной сети. Принцип метода заключается в сравнении текущего состояния системы и выполняемых в ней действий с существующими сигнатурами – хранимых в заранее составленной базе данных. Под

сигнатурами в данном случае понимаются наборы данных (словари), хранящие в себе информацию о вирусах или атаках. При обращении к этим словарям происходит сравнение подозрительного файла (пакета) с данными из словаря (информация о вирусе/атаке) и впоследствии применяется решение о блокировке (отправке в карантин) либо разрешении данного образца (пакета).

Ярким примером работы с сигнатурами могут служить антивирусное ПО и системы обнаружения вторжений, которые, просматривая файл или пакет, обращаются к словарю с известными вирусами, составленному авторами программы.

К достоинствам этого метода можно отнести: скорость анализа; заранее созданный список правил упрощает работу (правила легко написать, понять, настроить). К недостаткам – замедление скорости работы со временем ввиду накопления большого количества правил (сигнатур); отсутствие защиты от неизвестных атак.

Метод *статистического анализа* основан на выявлении атаки при отклонении работы системы от шаблона. Шаблон (набор файлов с настройками) создается с заранее заданными параметрами, включающими в себя нормальное поведение системы.

Через постоянные промежутки времени производятся замеры некоторых параметров сетевого трафика, например, количество TCP (Transmission Control Protocol) и UDP (User Datagram Protocol) пакетов. Предполагается, что полученный ряд отображает «нормальное» поведение сети. Далее происходит поиск отклонений текущего состояния от «нормального» поведения. Достоинство метода – это адаптивность (возможность выявления неизвестных атак), а недостаток – невыявление изменений в деятельности объекта (как следствие, пропуск атак).

На данный момент разработано достаточное количество алгоритмов сравнения текущего поведения с «нормальным». Но один из самых эффективных и часто используемых является метод Holt-Winters. Во-первых, присутствует открытая реализация этого метода в RRDtool (программа для работы с RRD (Round-robin Database, кольцевая база данных)). RRDtool позволяет создавать графики на основе данных, хранящихся в кольцевой базе данных (RRD). Во-вторых, данный метод уже давно зарекомендовал себя на практике.

Метод прогнозирования Holt-Winters основан на том, что наблюдаемый временной ряд (данные сетевого трафика) может быть разложен на три составляющие: нормальная составляющая, линейное отклонения и сезонное отклонение. Предполагается, что каждая из этих компонент изменяется со временем и ее изменение можно найти с помощью последовательного применения экспоненциального сглажива-

ния (способ выравнивания временного ряда, как следствие, более точное прогнозирование).

При использовании метода *анализа систем состояний* процесс работы описывается в виде состояний и переходов между ними. В результате работа всей системы реализуется с помощью ориентированного графа, как правило, с бесконечным множеством вершин. Метод анализа систем состояний осуществляет поиск в построенном графе состояний защищаемой системы известных недопустимых путей. Обнаружение последовательности переходов, приводящей в опасное состояние, означает успешное обнаружение атаки. Достоинство метода – его верифицируемость, а к недостаткам можно отнести то, что при частичном совпадении последовательности невозможно выявить атаки.

Метод *графов сценариев атак* заключается в построении графа, который содержит все известные сценарии атак, на основе определенного свойства корректности системы. На основе данного свойства поведение системы делится на допустимое и недопустимое. На данном методе строится полный набор вариантов недопустимого поведения для конкретной защищаемой системы, что дает на выходе описание возможных путей атаки. Данный метод может быть реализован для поиска уязвимостей при проектировании систем, однако для задачи обнаружения атак неприменим по причине высокой вычислительной сложности. Достоинства метода – адаптивность и верифицируемость, а недостаток – высокая сложность вычислений.

Метод *экспертных систем* основан на описании работы системы в виде фактов и правил вывода. На входе системе предоставляются данные о наблюдаемых событиях в системе. На основании фактов и правил система составляет вывод о наличии атаки. Для данного метода может наблюдаться полный перебор большого числа альтернатив.

Преимущество использования экспертных систем заключается в возможности разделения причин и решений возникающих проблем. К недостаткам можно отнести низкую эффективность при работе с большими объемами данных и сложность учета зависимости природы параметров оценки.

Метод *нейронных систем* основан на представлении защищаемых систем в виде траекторий в некотором числовом пространстве. Задача обнаружения атак рассматривается как задача распознавания образов.

Достоинство метода в том, что он имеет сравнительно низкую сложность вычислений и может быть адаптивным. Недостатками ме-

тогда можно считать его неверифицируемость и устойчивость только в пределах той сети, в которой он обучался.

Метод *иммунных системы* основан на построении по аналогии с иммунной системой живого организма. Достоинствами будет возможность быстрого получения «антител» к уже известным атакам и адаптивность метода. Недостатки же – это вычислительная сложность и опять-таки неверифицируемость.

Анализируя каждый представленный метод, можно сказать, что на данный момент наиболее эффективным и точным методом прогнозирования аномалий является метод с использованием *статистического анализа*. У каждого представленного метода есть свои достоинства и недостатки, выбор конкретной используемой системы и соответствующего метода обнаружения аномалий зависит от бюджета организации, уровня знаний специалиста по безопасности. При практической реализации рекомендуется дублировать устройства или ПО, выполняющие функции обнаружения. Например, установить систему предотвращения вторжений совместно с проверяющей ее системой обнаружения вторжений.

#### Список литературы

1. *Беляев, А.* Системы обнаружения аномалий: новые идеи в защите информации [Электронный ресурс] / А. Беляев, С. Петренко // Cit Forum [Сайт]. – URL: <http://citforum.ru/security/articles/anomalis/> (дата обращения 04.12.15).
2. *Емельянов, В. Н.* Проблемы безопасности использования платежных банковских карт / В. Н. Емельянов, М. М. Павлова, И. А. Кайсина // Наука и современность : сб. статей междунар. науч.-практ. конф. – Уфа : Аэтерна, 2015. – С. 16–19.
3. Информационная безопасность открытых систем : учебник для вузов / С. В. Запечников [и др.]. – В 2 т. – Т. 2: Средства защиты в сетях. – М. : Горячая линия–телеком, 2008. – 560 с.
4. *Михайлов, А. Ю.* Средства эффективного учёта и анализа сетевого трафика. – Переславль-Залесский, 2009. – С. 132–146.
5. *Новиков, Е. А.* Сравнительный анализ методов обнаружения вторжений / Е. А. Новиков, А. А. Краснопевцев // Безопасность информационных технологий. – 2012. – № 1. – С. 47–50.
6. *Ревило, О. А.* Влияние нагрузок в сети на характеристики качества передачи потоковых данных / О. А. Ревило, А. В. Абилов, В. Н. Емельянов // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 1(49). – С. 97–99.
7. *Шелухин, О. И.* Обнаружение вторжений в компьютерные сети / О. И. Шелухин, Д. Ж. Сакалема, А. С. Филинова. – М. : Горячая линия-Телеком, 2013. – 220 с.



## **Review of the methods for determining of anomalies of network traffic**

**Abstract.** *The general concepts of anomalies of computer networks are presented. Detailed classification of anomalies by the reasons of their emergence is given. The main methods of anomaly detection of network traffic in computer networks are in detail presented, merits and demerits of each of them are described.*

**Keywords:** network traffic, anomaly, the computational net, informational security, signature, virus.

*М. М. Емельянова*, ст. преподаватель  
*М. Н. Баженов*, студент  
*В. С. Ермаков*, студент  
*Д. В. Манохина*, студентка  
E-mail: mariya.m.pavlova@mail.ru  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Программное определение спектра зашумленного сигнала

*Известно, что изменение формы сигнала при его прохождении по любой среде передачи приводит к преобразованию спектра. Для выделения же основных частотных составляющих этого сигнала можно воспользоваться пакетом прикладных программ MATLAB или любой средой программирования.*

**Ключевые слова:** дискретное преобразование Фурье, зашумленный сигнал, спектр сигнала, MATLAB.

При прохождении по любой среде передачи (медной, оптической, беспроводной) электромагнитный сигнал подвергается изменениям. Причиной неидеальной передачи сигнала можно считать искажение, затухание и шум. При искажении форма сигнала подвергается преобразованиям (может меняться его амплитуда и фаза), затухание уменьшает энергетические показатели сигнала, а шум, накладываясь на передаваемый сигнал, меняет его исходные характеристики. Это приводит к тому, что ослабление уровня сигнала ухудшает качество передачи данных. При этом возрастает доля потерянных пакетов данных, восстановление которых часто осуществляется с помощью различных известных методов, например коррекция потерь с запросом повторной передачи ARQ [1-6] и прямая коррекция потерь пакетов FEC [7, 8].

Между спектром сигнала и его формой существует определенная связь: изменение формы сигнала приводит к преобразованию его спектра, и наоборот, любое изменение спектра сигнала изменяет его формы.

Для сопоставления формы сигнала и его спектра используют семейство преобразований Фурье. В него входят: преобразование Фурье, ряды Фурье, дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и дискретные ряды Фурье. При цифровой обработке сигналов используется только ДПФ. Для реализации ДПФ используется быстрое преобразование Фу-

рье (БПФ), которое позволяет с помощью определенного алгоритма за конечное количество действий быстро вычислить ДПФ [9].

Для преобразования сигналов из временной области в частотную применяется прямое преобразование Фурье [10, 11]:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (1)$$

где  $X_k$  – комплексные амплитуды синусоидальных сигналов, составляющих исходный сигнал;  $x_n$  – значения сигнала в дискретные моменты времени;  $N$  – количество значений сигнала измеренных за период, а также количество компонентов разложения.

Обратное преобразование Фурье позволяет по спектральной плотности определить форму и параметры сигнала во временной области. Математически описывается [9, 10]:

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi kn/N}, \quad n = 0, \dots, N-1. \quad (2)$$

$X_k$  являются выходными данными для прямого преобразования и входными для обратного, а  $x_n$  – входными данными для прямого и выходными данными для обратного преобразования Фурье.

Для выделения основных частотных составляющих сигнала, зашумленного помехами, можно воспользоваться пакетом прикладных программ MATLAB или любой средой программирования.

Для анализа частотных характеристик зашумленного сигнала и реализации прямого БПФ потребуется входной гармонический сигнал и аддитивная составляющая, имитирующая наличие шума в канале передачи.

Код программы для анализа частотных характеристик сигнала с применением прямого БПФ и построения его спектра в системе MATLAB запишем как:

```
Tm=5; % Длина сигнала (с)
Fd=512; % Частота дискретизации (Гц)
FftL=1024; % количество линий Фурье спектра
T=0:1/Fd:Tm; % Массив отсчетов времени
Signal=30*cos(800*T)+50*sin(500*T); % функция входного сигнала
FftS=abs(fft(Signal,FftL)); % функция БПФ
FftS=2*FftS./FftL; % Нормировка спектра по амплитуде
FftS(1)=FftS(1)/2; % Нормировка постоянной составляющей спектра
```

Для работы кода программы задано время анализа входного сигнала – 5 с, частота дискретизации сигнала – 512 Гц, число отчетов для

определения спектра – 1024. Входной сигнал задается функцией суммы двух гармонических сигналов с основными частотами 800 и 500 рад/с. Для спектрального представления сигнала используется функция  $FftS$ . Сформированный системой входной сигнал представлен на рис. 1.

На рис. 2 представлен этот же сигнал в увеличенном масштабе в диапазоне от 0 до 0,5 с.

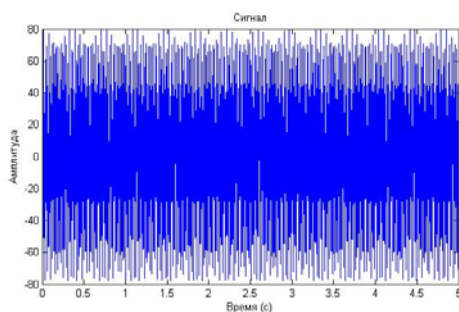


Рис. 1. График входного сигнала во временной области

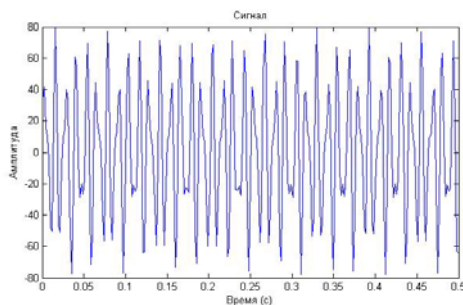


Рис. 2. Увеличенный график входного сигнала во временной области

Реализуя одномерное преобразование Фурье для данного сигнала система MATLAB строит график спектральной плотности (рис. 3).

По диаграмме можно определить две основные частоты (127 и 79 Гц), на которых амплитуда сигнала максимальна.

Для имитации шума в канале передачи добавим в код программы генератор случайных чисел  $rand()$ . Данная функция реализует дискретный белый шум, т. е. сигнал, спектральные составляющие которого распределены по всему диапазону задействованных частот.

```
signal=30*cos(800*T)+50*sin(500*T)+rand(); % Функция зашумления  
% входного сигнала
```

Сформированный системой зашумленный сигнал и его увеличенный вариант представлены на рис. 4 и 5.

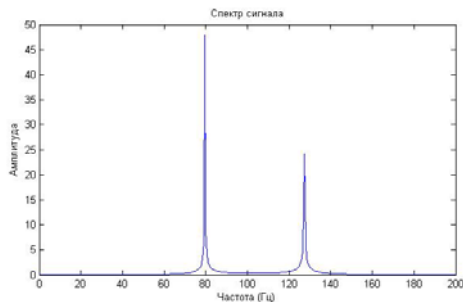


Рис. 3. Спектральная диаграмма входного сигнала

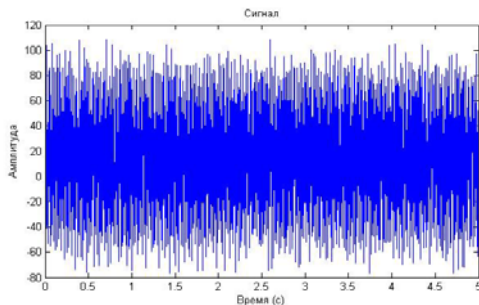


Рис. 4. График зашумленного сигнала во временной области

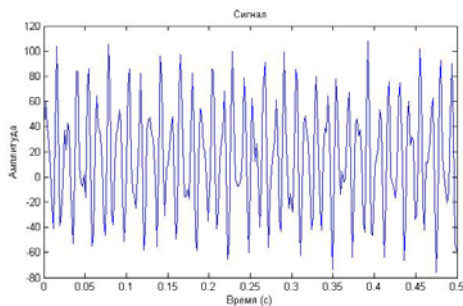


Рис. 5. Увеличенный график зашумленного сигнала во временной области

Функция  $FftS$  позволила выделить основные частоты входного сигнала даже в условиях наличия шума в канале передачи (рис. 6).

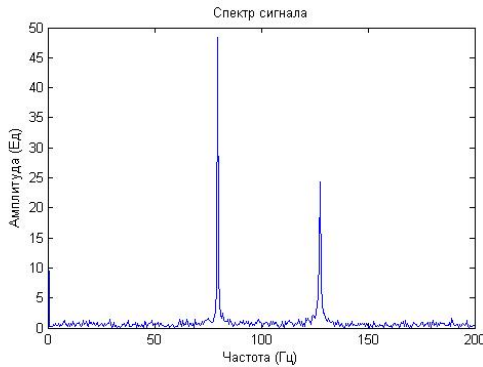


Рис. 6. Спектральная диаграмма зашумленного сигнала

Но в случае если мощность шума будет больше мощности сигнала, то выполнить это не удастся. В данном вопросе важным является параметр SNR (signal-to-noise ratio) – отношение сигнал – шум, дБ:

$$SNR = 10 \lg(P_C/P_{\text{ш}}),$$

где  $P_C$  – мощность сигнала;  $P_{\text{ш}}$  – мощность шума.

При превышении определенного значения SNR выделить полезную составляющую из зашумленного сигнала будет невозможно. Если спектр полезного сигнала отличается от спектра шума, улучшить отношение сигнал/шум можно ограничением полосы пропускания системы.

Также проведена реализация прямого БПФ с помощью языка программирования C++. Для реализации на языке C++ прямого БПФ, требуется задать массивы анализируемых и полученных данных, их длина должна быть кратна степени 2. Полученный код программы намного длиннее, чем в MATLAB из-за более сложного синтаксиса.

Компилятор C++ не может вывести график входного сигнала, а выводит только график спектральной диаграммы с помощью функции:

```
FFTResult AnalyseFunctionByFFT(double(*func)(double), int Tm = 5,
int Fd = 512, int FftL = 1024)
```

Для того чтобы записанный код C++ выводил график спектральных диаграмм, требуется создать переходной файл и запустить его в системе MATLAB.

В результате запуска кода в MATLAB формируется график зависимости амплитуды сигнала от частоты, аналогичный полученному на рис. 6. Приходим к выводу, что построение графиков функции в MATLAB легче и доступнее, так как не требует сложных преобразований.

Таким образом, доказано, что преобразование Фурье помогает выделить основные частоты зашумленного сигнала и реализовать это возможно с помощью многих сред программирования. Процесс моделирования процесса передачи имеет разную сложность, а его результаты при этом будут схожи.

### Список литературы

1. Павлова, М. М. Оценка эффективности алгоритма ARQ при передаче потоковых данных в WLAN / М. М. Павлова, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 141–145.
2. Чунаев, А. В. Влияние характеристик передачи потоковых данных на качество видео в WLAN / А. В. Чунаев, А. В. Абилов, А. И. Нистюк // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 219–224.
3. Васильев, Д. С. Экспериментальное исследование качества передачи видео в древовидной P2P сети с алгоритмом ARQ прикладного уровня / Д. С. Васильев, А. В. Чунаев, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Т. 8. – № 1. – С. 10–14.
4. Абилов, А. В. Повышение качества передачи потоковых данных в сетях БПЛА с помощью PULL-PUSH-подхода / А. В. Абилов, Д. С. Васильев // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т. 12. – № 4. – С. 45–50.
5. Чунаев, А. В. Алгоритм AL-ARQ для потоковой доставки видеоданных в беспроводной локальной сети / А. В. Чунаев, А. В. Абилов, М. М. Павлова // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13. – № 1. – С. 68–73.
6. Павлова, М. М. Математическая модель передачи потоковых данных прикладного уровня по беспроводным каналам связи / М. М. Павлова, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7. – № 11. – С. 142–146.
7. Емельянов, В. Н. Применение адаптивных алгоритмов управления с использованием временного окна для передачи потоковых данных / В. Н. Емельянов, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 85–90.
8. Ревило, О. А. Алгоритмы оценки потерь пакетов с адаптацией по выборке для сетей передачи потоковых данных / О. А. Ревило, В. Н. Емельянов, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 161–164.
9. Зорина, У. В. Быстрые дискретные преобразования Фурье и примеры их реализации в пакете прикладных программ MATLAB // Вестник ИжГТУ. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – С. 300–305.

10. Спектральное представление сигналов [Электронный ресурс] // Conture.by: Блог свободного инженера [Сайт]. – URL: <http://conture.by/post/592> (дата обращения: 19.11.2015).

11. Способы представления колебаний [Электронный ресурс] // Моя библиотека [Сайт]. – URL: <http://mybiblioteka.su/3-32650.html> (дата обращения: 19.11.2015).

## **Software definition of the spectrum of a noisy signal**

**Abstract.** *It is well known that changing a waveform of signal as it passes along any transmission medium, leads to the transformation of the spectrum. To highlight the basic frequency components of the signal, you can use software package or any MATLAB programming environment.*

**Keywords:** discrete Fourier transform, noisy signal, signal spectrum, MATLAB.



*М. М. Емельянова*, ст. преподаватель

E-mail: mariya.m.pavlova@mail.ru

*В. Н. Емельянов*, канд. техн. наук, доц.

E-mail: em.vl@mail.ru

*В. В. Титов*, студент

E-mail: shumagorath@mail.ru

*В. С. Машковцев*, студент,

E-mail: vladik\_v725@bk.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Опасность использования точек доступа Wi-Fi в общественных местах**

*В статье описываются распространенные способы перехвата пользовательского трафика при подключении к публичной сети Wi-Fi. Приводятся рекомендации для снижения к минимуму рисков перехвата и изменения передаваемых данных.*

**Ключевые слова:** Wi-Fi, безопасность, открытая точка доступа, публичная сеть, перехват трафика.

В настоящее время в общественных местах (например, кафе, кино-театрах, торговых центрах, популярных местах на улице и т. п.) все чаще устанавливают публичные или муниципальные точки доступа Wi-Fi. Радиус их действия может быть расширен множеством способов до нескольких сот метров [1–7] и методов прямой коррекции потерь данных FEC [8, 9]. Приходя в такое место, пользователь подключает свое устройство к сети Wi-Fi и начинает общаться в социальных сетях, делиться фотографиями (видео), совершать покупки в интернет-магазинах и т. д., не задумываясь о конфиденциальности собственных действий. Но основную угрозу может нести человек (злоумышленник), который с легкостью может не только следить за вашими действиями, но и получить доступ к вашим аккаунтам.

Таким образом, если в общественном месте пользователь решил воспользоваться установленной там точкой доступа Wi-Fi для выхода в сеть Интернет, то злоумышленник может перехватить передаваемые им данные и воспользоваться ими для своих целей. Существует несколько способов совершения такого неправомерного действия [10, 11].

Первый вариант состоит в том, что в данном месте на самом деле нет открытой точки доступа, а кто-то просто создал свою открытую точку доступа, например, с именем «%название места%\_free\_wifi» (рис. 1). В этом случае преступник может не только полностью просматривать передаваемый трафик, но и вмешиваться в него. Например, подставляя вместо запрашиваемых сайтов, ссылки на спуфинговые сайты (spoofing – подмена), где пользователь будет вводить идентификационную информацию, при этом думая, что находится на легитимном ресурсе.

Второй вариант схож с первым, но в рассматриваемом случае легальная точка доступа все же существует. Преступник, располагая более мощным ретранслятором, создает точку с именем, идентичным имени легальной точки. В результате этого мобильные устройства пользователей автоматически переключаются к точке с более мощным сигналом, и трафик вновь передается через сеть злоумышленника (рис. 2). Преступник, в свою очередь, может как прослушивать трафик, так и влиять на него.

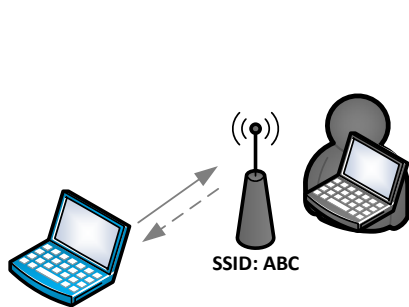


Рис. 1. Создание точки доступа злоумышленником

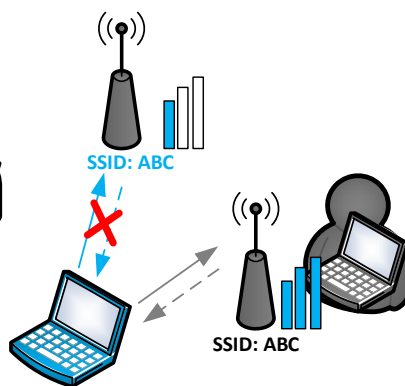


Рис. 2. Замена легитимной точки доступа

Третий вариант заключается в простом прослушивании трафика между клиентом и точкой доступа Wi-Fi (рис. 3). В данном случае влиять на трафик невозможно, однако просматривать и извлекать из него необходимую информацию по-прежнему возможно.

Для перехвата и анализа трафика может использоваться различное доступное программное обеспечение. Программа AirSnort перехватывает и взламывает WEP-ключи. ASLEAP предназначена для сбора информации об аутентификации. Airodump-ng, Wireshark и Cain&Abel

перехватывают пакеты WiFi- и SSID-сетей, в том числе и в режиме реального времени. Network Stumbler and Kismet способны обнаруживать беспроводные сети. CoWPAtty взламывает пароли WPA-PSK (WPA1) [10–11].

Даже если сеть не открытая, а требует ввода пароля для подключения к точке доступа Wi-Fi (который чаще всего можно взять у администратора заведения), то это также не гарантирует 100 % безопасности подключения.

Наиболее распространенный на сегодняшний день режим защиты Wi-Fi сети – это WPA2-PSK. Он позволяет разграничить доступ в сеть посредством запроса пароля при авторизации, а также обеспечивает безопасность передаваемых данных, шифруя их временным ключом.

При подключении к сети Wi-Fi с WPA2-PSK процесс аутентификации начинается с так называемого рукопожатия (handshake). Точка доступа и клиент обмениваются определенным набором данных, которые в сочетании с паролем используются для формирования временного ключа. С его помощью шифруются передаваемые данные, при этом секретный ключ уникален не только для каждого клиента, но и для каждой сессии. То есть пароль в открытом виде не передается.

Из описания становится очевидна уязвимость, образующаяся в случае компрометации пароля сети. Она заключается в том, что можно, зная пароль от сети, подключиться к ней с помощью легкодоступного ПО, сформировать специальные пакеты деаутентификации, тем самым заставив жертву переподключиться к точке доступа и перехватить начальные пакеты аутентификации. Имея на руках данные пакеты и пароль, можно дешифровать трафик клиента.

Для формирования и отправки пакетов деаутентификации можно использовать утилиту Aireplay-ng. При наличии пакетов handshake и пароля сети трафик можно расшифровывать посредством того же Wireshark. Получается, что защищённая сеть в общественном месте в большинстве случаев также не является безопасной.

Существует также атака ARP-spoofing, позволяющая вклиниться между клиентом и легитимной точкой доступа Wi-Fi и помимо прослушки иметь возможность влиять на трафик. Назначение ARP-spoofing заключается в том, чтобы обмануть клиентское устройство и роутер представившись первому роутером, а второму клиентом. Таким образом, трафик будет проходить через устройство злоумышленника (рис. 4). Однако данная атака малоэффективна в реальных условиях, так как легко обнаруживается брандмауэрами, как встроенными в роутер, так и установленными на компьютере жертвы (защита может быть организована разными методами, например можно фиксировать

аномалии по типу смены IP-адреса при сохранении прежнего MAC-адреса в ARP-таблицах) [12].

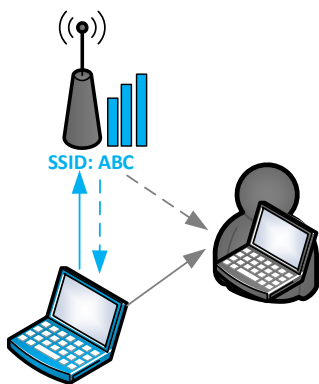


Рис. 3. Прослушивание трафика

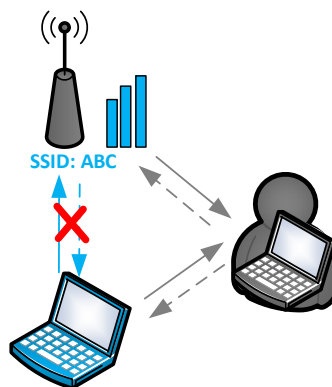


Рис. 4. Атака ARP-spoofing

Для защиты от вышеперечисленных угроз помогут следующие правила:

- Во-первых, стараться вообще не использовать общественный Wi-Fi, если необходимо передавать какие-либо конфиденциальные данные, производить авторизацию на сайтах или оплачивать услуги банковской картой с помощью онлайн-сервисов.

- Во-вторых, удостовериться, что подключение осуществлено посредством легитимной точки доступа Wi-Fi, для этого требуется отключить на собственном устройстве автоматическое подключение к открытым точкам и убедиться, что в заведении имеется Wi-Fi. Обычно наличие Wi-Fi обозначается специальными логотипами, наклеенными в зоне его действия.

- В-третьих, следить, чтобы при работе с сайтом в адресной строке браузера был указан тип соединения HTTPS, а также желательно использовать VPN-соединения либо другие средства шифрования передаваемого трафика.

Соблюдая эти рекомендации, можно свести риски перехвата и прослушивания передаваемого трафика к минимуму.

### Список литературы

1. Спиридонова, П. А. Усиление сигнала сети Wi-Fi / П. А. Спиридонова, М. М. Павлова // Приборостроение в XXI веке – 2014. Интеграция науки, образования и производства : сборник материалов X Всероссийской научно-

технической конференции с международным участием. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2015 – С. 447–451.

2. Pavlova, M. Research characteristics of QoS for WLAN in condition of mobile nodes / M. Pavlova, O. Mengyarov // Proceedings of the 4<sup>th</sup> Forum of Young Researchers in the Framework of International Forum “Education Quality – 2014”. – Izhevsk, Russia, 2014. – Pp. 403–405.

3. Павлова, М. М. Оценка эффективности алгоритма ARQ при передаче потоковых данных в WLAN / М. М. Павлова, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 141–145.

4. Чунаев, А. В. Влияние характеристик передачи потоковых данных на качество видео в WLAN / А. В. Чунаев, А. В. Абилов, А. И. Нистюк // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 219–224.

5. Васильев, Д. С., Чунаев, А. В., Абилов, А. В. Экспериментальное исследование качества передачи видео в древовидной P2P сети с алгоритмом ARQ прикладного уровня // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Т. 8. – № 1. – С. 10–14.

6. Абилов, А. В., Васильев, Д. С. Повышение качества передачи потоковых данных в сетях БПЛА с помощью PULL-PUSH-подхода // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т. 12. – № 4. – С. 45–50.

7. Чунаев, А. В. Алгоритм AL-ARQ для потоковой доставки видеоданных в беспроводной локальной сети / А. В. Чунаев, А. В. Абилов, М. М. Павлова // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13. – № 1. – С. 68–73.

8. Емельянов, В. Н. Применение адаптивных алгоритмов управления с использованием временного окна для передачи потоковых данных / В. Н. Емельянов, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 85–90.

9. Ревило, О. А. Алгоритмы оценки потерь пакетов с адаптацией по выборке для сетей передачи потоковых данных / О. А. Ревило, В. Н. Емельянов, А. В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6. – № 7. – С. 161–164.

10. Беспроводные сети Wi-Fi : учеб. пособие / А. В. Пролетарский, И. В. Баскаков и др. – М. : Интуит; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 216 с.

11. Уваров, А. С. Безопасность в сетях Wi-Fi. Часть 1 – открытые сети [Электронный ресурс] // Записки IT-специалиста. Технический блог специалистов ООО «Интерфейс» [Сайт]. – Дата размещения: 02.05.2014. – URL: [http://interface31.ru/tech\\_it/2014/05/bezopasnost-v-setyah-wi-fi-chast-1-otkrytye-seti.html](http://interface31.ru/tech_it/2014/05/bezopasnost-v-setyah-wi-fi-chast-1-otkrytye-seti.html) (дата обращения: 14.12.2015).

12. Павлова, М. М. Эффективность алгоритма ARQ прикладного уровня для передачи потоковых данных в сетях WLAN / М. М. Павлова, А. В. Абилов, А. В. Чунаев, В. Н. Емельянов // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства – 2010 : сб. мат. VI Всерос. науч.-техн. конф. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – С. 233–238.

## **Dangers of using access points Wi-Fi in public areas**

**Abstract.** *This article describes common interception ways of wireless traffic that is transmitted through public Wi-Fi network . We present recommendations to reduce to a minimum risk of interception and changing of transmitting data.*

**Keywords:** Wi-Fi, information security, hotspot, traffic interception.

## Увеличение производительности сети радиосвязи за счет изменения длительности кадра данных

*Создана модель сети радиосвязи. Произведено сравнение эффективности использования канала различными протоколами доступа к среде с динамическим диапазоном длительности кадров данных.*

**Ключевые слова:** моделирование сети связи, эффективность использования канала сетью радиосвязи, правила доступа к среде, формат кадра данных, канальный уровень.

Рассмотрим следующую **модель**: в общей среде передачи данных функционируют станции. Вне режима передачи станции находятся в режиме постоянного прослушивания трафика. Станции синхронизированы. Временная задержка на распространение сигнала между станциями характеризуется физической распределенностью сети, которая не превышает 300 км. Установление соединения проходит по 2 сценариям: станция-адресат приняла пакет; в среде передачи данных случилась коллизия. При возникновении коллизии станция-отправитель повторяет попытку передачи согласно правилам доступа к среде применяемого протокола связи. Предположим, что после установления соединения станции переходят в полосу информационного взаимодействия без конкурирования за выход в эфир. В описанной модели, установление соединения является самым критичным моментом. С целью увеличения вероятности установления соединения предложено применить методику изменения длительности кадра данных в процессе установления соединения.

В целях проведения оценки эффективности использования общего канала станциями связи разработана программа для математического пакета MATLAB.

Произведено моделирование процесса установления соединений станциями в общем канале с цифровой связью, варьируя формат кадра данных в части изменения его длительности. Предлагается методика выбора длительности кадра данных на основе обучающего множества примеров. Примеры представляют собой значения параметров (факто-

ров, влияющих на вероятность установления соединения) и длительность кадра, которая позволяет статистически ожидать большей вероятности установления соединения. В результате применения алгоритма ожидается увеличение общей производительности сети связи с общим каналом.

Время работы модели разбито на отрезки времени, которые состоят из  $N$  кадров, каждый кадр разбит на  $n$  слотов, как это показано на рис. 1.



Рис. 1. Временное деление кадра данных в модели

Каждый временной слот имеет длительность, существенно превышающую задержку распространения сигнала. В рамках каждого слота возможно определить 2 момента начала передачи данных ( $x_1$  и  $x_2$ ), позволяющих точно разграничить моменты начала передачи, но не оказывающих влияние на показатели работоспособности сети. Каждый из моментов начала передачи определяет собой длительность кадра данных, который будет передаваться. Количество слотов  $n$  являются переменными в модели. В пределах каждого отрезка времени программа задает параметры канала связи, затем производится моделирование канала связи для передачи кадров данных. Результатом моделирования является среднее значение успешных попыток передачи кадра данных. Положим, что длительность слота много больше длительности задержки распространения сигнала (при условии удаленности станций на 300 км друг от друга, максимальное значение задержки составит 0,001 с). В модели выбраны кадры, равные 3 слотам и 50 слотам. В результате функционирования модель строит график, отображающий изменение вероятности передачи кадра данных, что дает наглядное представление, какой формат кадра данных будет наиболее эффективным (по критерию наибольшей вероятности успешной передачи данных) в заданных условиях.



Попытки установления соединений производились при помощи правил доступа к среде следующих протоколов доступа к среде: ALOHA, nonpersistent CSMA, 1-persistent CSMA и p-persistent CSMA [1–2]. Форматы кадров для заданных протоколов были едины.

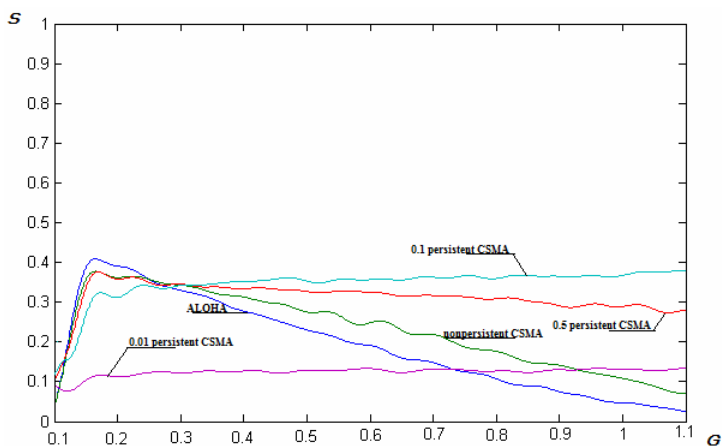


Рис. 2. Графики зависимости вероятности передачи от интенсивности попыток передач для разных правил доступа при условии длительности кадра данных 3 слота

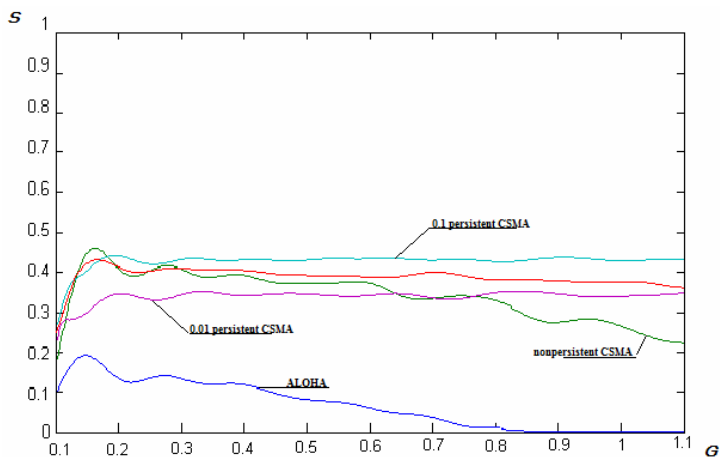


Рис. 3. Графики зависимости вероятности передачи от интенсивности попыток передач для разных правил доступа при условии длительности кадра данных 50 слотов

При постановке эксперимента, основанного на моделировании работы сети, состоящей из 6 станций, интенсивность попыток передач у которых изменялась в пределах от 0,05 до 0,8 кадров данных в 1 временной слот, количество временных слотов – 1000, количество слотов для передачи одного кадра – 3 и 50, максимальная задержка на повторную передачу – 10 слотов, максимальная задержка распространения сигнала между станциями – 0,001 слота, количество проведенных попыток установления соединения – 1000, были получены следующие результаты (рис. 2 и 3).

1) При минимальных значениях интенсивности попыток передач (до 0,1 попытки в слот) протокол ALOHA при условии малой длительности кадра данных показал максимальное значение вероятности установления соединения. Однако этот же протокол показал свою низкую применимость при возрастании интенсивности попыток установления соединений, а также свою полную неприменимость в случае увеличения длительности кадров данных. Полученный результат объясняется высокой вероятностью установления соединения протоколов высокой настойчивости при низкой загрузке канала. Однако отсутствие отсрочки на повторную передачу, в случае возникновения коллизий, в дальнейшем воспроизводит коллизии в каждом последующем временном слоте. Низкую применимость протокола ALOHA в случае увеличения длительности кадра данных можно объяснить отсутствием проверки занятости канала при попытке установления соединения.

2) Максимальную вероятность установления соединения показал протокол 0.1-persistent CSMA при условии длительности кадра данных 50 слотов и при условии 3 слотов в промежутке интенсивности попыток передач от 0,1 попытки в слот. Такой результат обоснован минимизацией простоев эфирного времени и оптимальным режимом планирования повторных передач, наилучшим образом обеспечивающим снижение количества коллизий.

3) Применение механизма, обеспечивающего варьирование длительности кадров данных, позволит увеличить вероятность установления соединения системы связи с общей средой передачи данных.

### Список литературы

1. Kleinrock L., Tobagi F. A. "Packet switching in radio channels: Part I – Carrier sense multiple-access modes and their throughput-delay characteristics," in IEEE Transactions on Communications, 1975, Vol. COM-23, No. 12, pp. 1400–1416.
2. Прокус, Дж. Цифровая связь. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.

## **Radio network throughput increase on account of data frame changing**

**Abstract.** *The model of the radio network was created. Is carried out a comparison of the channel use efficiency by various access protocols with dynamic range of the frame length.*

**Keywords:** modeling of radio network, throughput of network radio channel, medium access rules, data frame form, data link layer.

*Д. Б. Надеева*, студентка  
*Н. А. Деришева*, студентка  
*А. И. Нистюк*, д-р техн. наук, проф.  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Тактильная обратная связь

*Данная статья посвящена применению тактильной обратной связи в приборах, используемых людьми с ограниченными возможностями. В частности, для людей с проблемами зрения. Данная технология позволяет таким людям пользоваться сенсорными устройствами, не прибегая к помощи третьих лиц.*

**Ключевые слова:** тактильная обратная связь, современные технологии, устройства для людей с ограниченными возможностями.

Совершенствование существующих технологий – неотъемлемая часть развития научной области. Ученые телекоммуникационных компаний бьются над тем, чтобы сделать нашу жизнь проще, изобретая новейшие устройства, позволяющие посредством прикосновения буквально взаимодействовать с предметами окружения, находясь дома. «Мы разрабатываем такие технологии, которые позволят вам не только касаться экрана компьютера, но и чувствовать его», – говорит исследователь Microsoft госпожа Хонг Тан, специализирующаяся на разработках в области тактильной обратной связи. «Во времена кнопочных телефонов у пользователей не было особых проблем с фиксированием отклика от устройства. Механические клавиатуры позволяли даже слепой набор – умение, столь распространенное среди молодежи в начале 2000-х и доступное ныне лишь самым отъявленным мобильным ниндзя», – сообщается в статье [6]. Но в связи с возникновением сенсорных устройств возникла новая проблема, которая не дает покоя инженерам в области телекоммуникаций. И эта проблема – разработка сенсорных устройств с обратной тактильной связью. Но еще более острый характер проблема приобретает, когда речь заходит о людях с ограниченными возможностями. И на основании вышесказанного тема данной статьи является на сегодняшний день особенно актуальной. В голове возникает вопрос, что же такое тактильная обратная связь и какие возможности предоставляются при ее использовании в современных технологиях, в частности,

в устройствах, предназначенных для пользователей с ограниченными способностями?

Для решения проблемы были поставлены следующие задачи:

1. Собрать и проанализировать материалы, посвященные теме применения обратной тактильной связи в современных гаджетах и выяснить причину ее возникновения.

2. Выявить механизм действия, на котором основывается работа обратной тактильной связи.

3. Разработать примерную блок-схему, отображающую принцип работы обратной тактильной связи, для устройств, предназначенных для определенной группы пользователей.

При исследовании данной темы были обработаны материалы, посвященные теме внедрения и использования обратной тактильной связи в устройствах таких авторов, как Стив Кингсли-Джонс, Майк Элган, Дмитрий Мякин, Владимир Парамонов и интернет-источники.

Так, в интернет-статье, посвященной возникновению обратной тактильной связи, говорится: «В середине 1990-х годов в развитии игровых манипуляторов произошел важный качественный скачок – появились первые модели, оснащенные механизмом обратной тактильной связи (forcefeedback). Основная идея, ради которой конструкторы работали над внедрением механизмов обратной тактильной связи в игровые манипуляторы, заключалась в том, чтобы придать игровому процессу еще большую реалистичность и увлекательность» [7].

Для того времени это был серьезный прорыв в области телекоммуникаций. Ведь ранее информация передавалась от гаджетов к пользователю только посредством звука и изображения. До этого момента упоминание о тактильной обратной связи не встречалось ни в одном источнике.

Так что же такое тактильная обратная связь? В статье, посвященной применению этой технологии в продукции компании Apple, дается следующее определение: «Тактильная обратная связь – это короткие вибрационные сигналы, которые издает устройство, чтобы, например, имитировать ощущения, возникающие при использовании физической клавиатуры» [5]. Но помимо виброотклика, который является наиболее популярным из всех технологий, осуществляющих тактильную обратную связь, существуют еще два способа: на основе пьезоэлектрического эффекта и на основе электростатического поля.

Кратко опишем технологию виброотклика для осуществления обратной тактильной связи.



Блок-схема для ввода текста в устройстве с обратной тактильной связью

мир и почувствовать его. Но все-таки есть другие более серьезные сферы, внедрение в которые технологий с обратной тактильной связью является жизненной необходимостью. И эта сфера касается группы людей, которые частично или полностью лишены зрения. В связи

Генератор вибрации включает актуатор (один или несколько), выполняющий функцию вибровозонка. Также в данной технологии используется один или несколько приводов, являющихся электромагнитными устройствами, для взаимодействия которых требуется программное обеспечение, встроенное в главный микропроцессор. Обязательным компонентом является библиотека тактильных эффектов и программируемый интерфейс для вызова этих эффектов. 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 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» вибровозонка, которому необходимо добавить регулирование частоты вращения. Возбуждение колебаний с регулируемой амплитудой возможно и другими устройствами [1–4].

Конечно, применение тактильной обратной связи в игровых устройствах повысило интерес к игровым приставкам благодаря тому, что дало игроку возможность погрузиться в виртуальный

с отсутствием этого органа восприятия такие люди могут воспринимать информацию, исходящую от каких-либо устройств, только на слух и посредством осязания. Поэтому устройства, обладающие обратной тактильной связью, будут особенно востребованы в среде людей с такими дефектами. Например, технология обратной тактильной связи может быть полезна для разблокировки мобильного устройства, для чтения книги с гаджета, а также для набора текста. Составим примерную блок-схему для ввода текста в устройстве с обратной тактильной связью, предназначенную для людей с дефектами зрения, изображенную на рисунке.

Согласно этой блок-схеме слабовидящий человек сможет посредством прикосновения к сенсорному экрану вводить текст, ориентируясь по вибрации на определенной частоте. Таким образом, каждой букве алфавита будет соответствовать виброотклик определенной частоты. Поэтому предварительно пользователь должен будет обучиться распознаванию алфавита по вибросигналам.

Таким образом, устройства с обратной тактильной связью являются перспективными в области разработки устройств, для людей с ограниченными способностями. Данные устройства смогут облегчить жизнь таким людям, позволив им пользоваться ими, не прибегая к помощи третьих лиц.

### Список литературы

1. *Васильев, О. И.* Телекоммуникационные устройства с тактильной обратной связью / О. И. Васильев, О. С. Карпов, А. И. Нистюк // *Приборостроение в XXI веке – 2014. Интеграция науки, образования и производства : сб. мат. X Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием.* – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – С. 364–368.

2. *Nistyuk, A.* “Mathematical base of technology of tactile feedback in devices with the touch screen,” in 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. (Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, September 12–13, 2013). IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN: 978-1-4799-1060-1. DOI: 10.1109/SIBCON.2013.6693612.

3. *Нистюк, А. И.* Программно-аппаратный комплекс для исследования сложных телекоммуникационных систем и систем управления // *Интеллектуальные системы в производстве.* – 2013. – № 1(21). – С. 149–152.

4. *Нистюк, А. И.* Технология тактильной обратной связи в устройствах с сенсорным экраном // *Радиотехнические и телекоммуникационные системы.* – 2012. – № 3(7). – С. 66–68.

5. *Михневич, Д.* Apple получила патент на тактильную обратную связь [Электронный ресурс] // Яблык.com [Сайт]. – Дата размещения: 23.02.2013. – URL: <http://yablyk.com/apple-poluchila-patent-na-taktilnuyu-obratnuyu-svyaz> (дата обращения: 19.10.2015).

6. Отдача в хорошие руки: дисплеи с обратной тактильной связью становятся реальностью [Электронный ресурс] // Хабрахабр [Сайт]. – URL: <http://habrahabr.ru/company/microsoftlumia/blog/235961> (дата обращения: 19.10.2015).

7. Технологии обратной тактильной связи [Электронный ресурс] // Персональный компьютер [Сайт]. – URL: [http://dammlab.com/osnovi-pk/peref\\_ustr/tehnologii-obratnoj-taktilnoj-svyazi.html](http://dammlab.com/osnovi-pk/peref_ustr/tehnologii-obratnoj-taktilnoj-svyazi.html) (дата обращения: 19.10.2015).

## **Tactile feedback**

**Abstract.** *This article is devoted to application of tactile feedback in devices used by disabled people including vision-impaired ones. This technology allows people to use touch-input devices without the help of a third party.*

**Keywords:** tactile feedback, modern technologies, devices for disabled people.



*А. И. Нистюк*, д-р техн. наук, проф.  
*И. А. Кайсина*, студентка  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Разработка адаптивного пользовательского интерфейса для устройств с сенсорным экраном**

*Адаптивный пользовательский интерфейс представляет собой совокупность программных и технических средств, позволяющих пользователю наиболее эффективно использовать данные возможности системы путем автоматического «подстраивания» интерфейса под определенного человека.*

**Ключевые слова:** пользовательский интерфейс, адаптивность, скорость обслуживания.

Связи в системе, в том числе и в системе «человек – машина», являются путями передачи энергии или информации от одного компонента к другому [1]. Связи в системе «человек-машина» делятся на два основных класса: связи индикации и связи управления. По традиции задача включения человека в систему всегда решалась последней, в результате чего эффективность системы не была наилучшей. Таким образом, оптимизация связей в системе «человек-машина» при компоновке пользовательских интерфейсов является одной из основных задач при проектировании электронных систем [2].

Для решения проблемы автоматизации проектирования пользовательского интерфейса необходимо создать программно-методический комплекс, который включает в себя:

- модель пользовательского интерфейса (на основе процесса функционирования электронной системы);
- методики описания процесса взаимодействия оператора с системой;
- алгоритм оценки качества компоновки компонентов на пользовательском интерфейсе.

А также разработать программное обеспечение для наглядного проектирования пользовательских интерфейсов, отвечающих заданному критерию.

Пользовательский интерфейс прибора или пульта является связующим звеном между человеком и электронной системой (рис. 1).

Работа электронной системы для оператора в виде «черного ящика» представлена на рисунке (рис. 2).

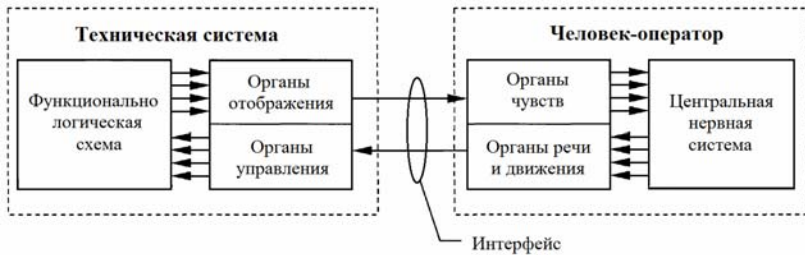


Рис. 1. Схема человек – оператор – пользовательский интерфейс – ЭС

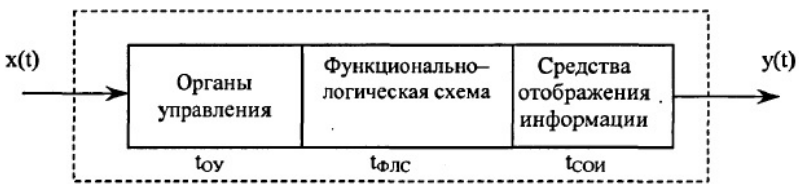


Рис. 2. Представление работы ЭС с точки зрения оператора

Действие оператора запускает функционально-логическую схему. В дальнейшем схема выдает результат оператору через средства отображения информации. Но для данной работы требуется некоторое время.

Время сенсомоторной реакции представляет собой сумму времен каждого из блоков системы человек – оператор [3]:

$$t_{\text{общ чел}} = t_1 + t_2 + t_3$$

Главный критерий при работе оценки – среднее время поиска компонента:

1. Если  $t_{\text{факт}} > t_{\text{ср}}$ , система не жизнеспособна, требуется поиск нового компоновочного решения.

2. Если  $t_{\text{факт}} < t_{\text{ср}}$ , система жизнеспособна.

Создание интерфейса состоит из двух частей: визуальное редактирование расположения инструментов ввода-вывода и редактирование функциональных блоков приложения.

Программа состоит из двух функциональных блоков, выполняющих следующие функции:

– определение координат точки касания;

- отображение точки касания;
- отображение координат точки касания;
- удаление полученных данных.

В ходе эксперимента были получены данные координат центра визирования, исходя из полученных данных можно определить центр визирования пользовательского интерфейса мобильного телефона с сенсорным экраном.

Для определения области быстрого доступа пользовательского интерфейса было разработано приложение для сбора экспериментальных данных.

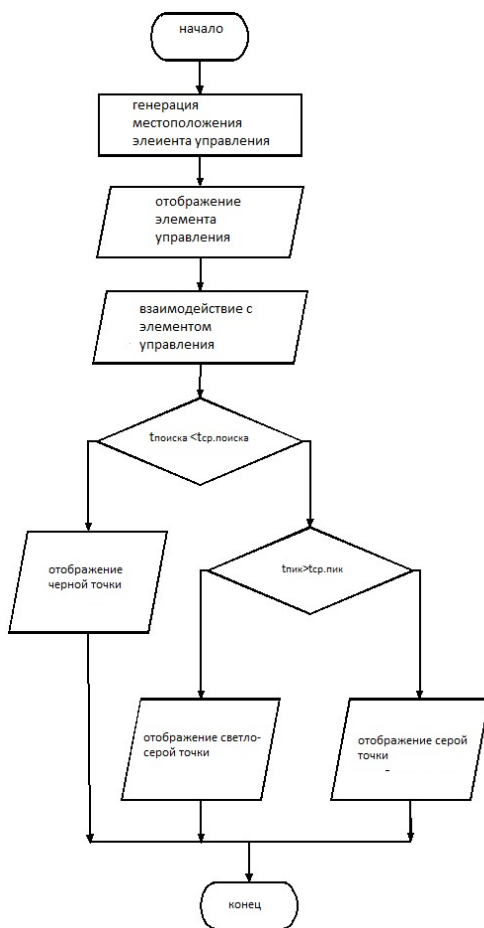


Рис. 3. Блок-схема программы «Определение области быстрого доступа»

Функциональные блоки программы выполняют следующие функции:

- расположение на пользовательском интерфейсе элемента управления (кнопки) в случайном порядке;
- определение координат точки касания и времени поиска;
- отображение координат точки касания и времени поиска;
- отображение общего вида координат точек касания с соответствующими временами поиска;
- удаление полученных данных.

Блок-схема программы «Определение области быстрого доступа» представлена на рис. 3.

В ходе эксперимента программа записывает получаемые данные в виде координат случайно появляющегося элемента управления и времени поиска.

В конце испытания приложение наглядно показывает координаты и время поиска элемента на экране мобильного устройства (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид приложения «Определение области быстрого доступа»

## Выводы

Главным техническим и экономическим эффектом от внедрения пользовательского интерфейса является сокращение в трудоемкости процесса взаимодействия между системой «оператор – пользовательский интерфейс». Грамотно созданный пользовательский интерфейс позволяет повысить надежность процесса взаимодействия оператора с устройством за счет оптимизации времени принятия решения оператором.

### Список литературы

1. Нистюк, А. И. Технология тактильной обработки связи в устройствах с сенсорным экраном // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2012. – № 3(7). – С. 66–68.

2. Нистюк, А. И. Программно-аппаратный комплекс для исследования сложных телекоммуникационных систем и систем управления // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1(21). – С. 149–152.

3. Чупин, А. Г. Моделирование системы «Оператор-ЭС» / А. Г. Чупин, А. И. Нистюк // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : тр. науч.-техн. конф. (Ижевск, 19–20 апреля 2001 г.). – Ижевск : Издательский дом «Удмуртский университет», 2001. – С. 17–20.

**Abstract.** *The interface of the telecommunications device should work quickly. The speed of the interface depends on convenience. The operator should be comfortable. The authors have developed the program search the frequent custom buttons. The buttons are for particular use and where it is convenient to the operator.*

**Keywords:** telecom, interface, adaptability, speed of service.

*А. И. Нистюк*, д-р техн. наук, проф.

*И. С. Пастухов*, студент

*В. М. Папулов*, студент

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Разработка интерфейса класса НМИ

*Рассматривается проблема производительности ввода данных с сенсорных экранов и предлагается ее решение с помощью модернизации и повышения надежности системы оператор – машина.*

**Ключевые слова:** ввод данных, сенсорный экран, оператор – машина, модернизация.

Многочисленные исследования показали, что сенсорные экраны способствуют замедлению и менее точной производительности ввода данных по сравнению с клавиатурами. Результаты показывают, что пользователи могут ввести только около 25 слов в минуту с сенсорного экрана клавиатуры по сравнению с 58 словами в минуту с использованием стандартной клавиатуры. Количество ошибок при вводе данных, малые скорости набора текста, неправильные штрихи и низкая точность делают устройства на базе сенсорного экрана непригодными для серьезного использования и создания контента.

Целью исследования являлось повышение надежности системы оператор-машина путем разработки интерфейса класса «Человек – Машина» (НМИ).

Проанализировали информацию о существующих технологиях тактильной обратной связи телекоммуникационных устройств. Рассмотрев способы формирования тактильной обратной связи, выделили три наиболее распространенные технологии, реализующие тактильные ощущения на экране: на основе пьезоэлектрического эффекта, на основе электростатического поля и на основе вибраций экрана.

Остановили выбор на самой распространенной технологии, основанной на вибрации. Основой генератора вибраций являются актуаторы, которые присутствуют в любом смартфоне или планшете и выполняют функцию вибровзвонка.

Модернизировали технологию ввода и считывания изображения на поверхности сенсорного экрана. А именно, осуществили модерниза-

цию программного обеспечения Narangi. Работой и разработками в данной области занимается множество компаний, таких как Tactus Technology, Immersion, Microsoft, Apple, Google [1].

Для управления обратной связью необходимо программное обеспечение. За основу была взята существующая программа и находящаяся на стадии формирования и тестовой версии Narangi для операционной версии Android. Был переработан интерфейс, русифицирован, уменьшено время отклика для увеличения разрешающей способности тактильной обратной связи и исправлены мелкие недостатки [2–3].

Работа программы ориентирована на сбор данных о работе от пользователей [4]. Путем прикосновения на сенсорном экране изображаются простые иллюстрации для тестирования:

- черно-белое полотно;
- таблица разрешающей способности, используемая для проверки частотного отклика [5].

А также сравнение и отличие фигур друг от друга.

Программа устанавливается на любое устройство под управлением операционной системы Android. Проведено тестирование на двух устройствах: телефон и планшет.

На основе собранных данных по работе программы можно утверждать о том, что:

1. С увеличением площади сенсорного экрана и размера изображения увеличивается разрешение и качество распознавания.
2. Для корректного распознавания изображения необходимо осуществлять медленное тактильное перемещение.

В качестве увеличения качества восприятия информации возможно применение тактильного напальчика с уменьшенной площадью касания экрана. Точность определения гра-

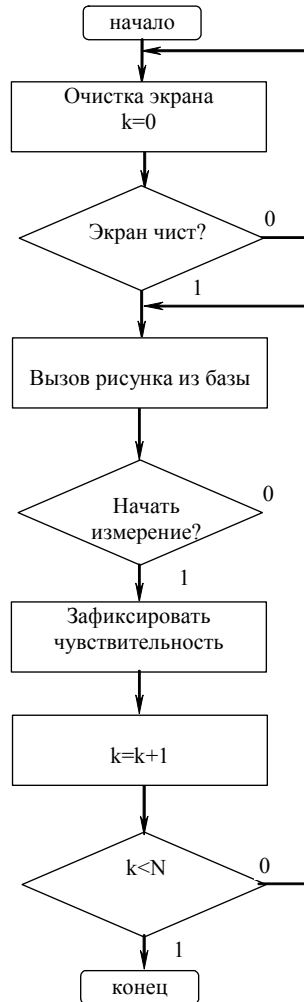


Рис. Блок-схема

ниц изображения, влияние частоты и амплитуды колебаний экрана, возможность работы со стилусом, пальцевым медиатором и т. п.

Развитие науки и технологии в данном направлении позволяет повысить качество воспринимаемой информации и позволит лицам с ограниченными возможностями воспринимать информацию без сторонней помощи. В сфере военного направления – повышение надежности правильного восприятия данных.

### Список литературы

1. *Васильев, О. И.* Телекоммуникационные устройства с тактильной обратной связью / О. И. Васильев, О. С. Карпов, А. И. Нистюк // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : сб. мат. X Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 12–14 ноября 2014 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – С. 364–367.

2. *Mehta, A. Narangi* [Программное обеспечение] // Google Play [Сайт]. – Сист. требования: Android 1.5 и выше. – Размер: 1,3 МБ. – URL: [https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai\\_arun\\_mehta.narangi](https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_arun_mehta.narangi) (дата обращения: 13.06.2016).

3. *Барбашин, Д. И.* К построению интерфейсов информационно-управляющих и телекоммуникационных систем / Д. И. Барбашин, А. И. Нистюк // Современная российская наука глазами молодых исследователей: Мат. Всерос. науч.-практ. конф.-форума молодых ученых и специалистов. – Красноярск : Научно-инновационный центр, 2011. – С. 215–216.

4. *Нистюк, А. И.* Программно-аппаратный комплекс для исследования сложных телекоммуникационных систем и систем управления // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1 (21). – С. 149–152.

5. *Барбашин, Д. И.* Разработка математических моделей и алгоритмов для автоматизированного проектирования передних панелей управляющих систем / Д. И. Барбашин, А. И. Нистюк // В мире научных открытий. Математика. Механика. Информатика. – Красноярск : Научно-инновационный центр, 2010. – С. 32–34.

## The development of the HMI class interface

**Abstract.** *The problem of touch screens input data performance is considered, and its solution is offered by means of upgrading and reliability improving of the operator-machine system.*

**Keywords:** data entry, touch screen, operator-machine, modernization, human-machine interface.



*А. С. Огородникова*, студентка

E-mail: ogorodnikova.aliona@yandex.ru

*М. М. Емельянова*, ст. преподаватель

E-mail: mariya.m.pavlova@mail.ru

*В. Н. Емельянов*, канд. техн. наук, доц.

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Аппаратный комплекс обеспечения безопасности движения на нерегулируемых пешеходных переходах**

*По статистике, наибольшее количество ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах происходит в темное и сумеречное время. Для того чтобы водитель смог вовремя заметить движущегося пешехода и уступить ему дорогу, предлагается аппаратный комплекс обеспечения безопасности движения на нерегулируемых пешеходных переходах. Срабатывание датчиков движения при приближении человека к проезжей части приведет в действие систему дополнительного освещения.*

**Ключевые слова:** безопасность, нерегулируемый пешеходный переход, датчик движения, устройство дополнительного освещения.

По данным всемирной организации здравоохранения, в результате ДТП ежегодно погибает 1,3 миллиона человек и еще от 20 до 50 миллионов получают травмы [1]. Самые низкие показатели по количеству ДТП у таких стран, как Швейцария, Норвегия и Швеция, где показатель смертности в ДТП на 100 тыс. человек населения составляет примерно 5 человек, а в России этот показатель достиг 25,2 [2].

По статистике ГИБДД за первое полугодие 2015 года аварии чаще всего происходят в выходные дни: по субботам – 12 235 аварий, в воскресные дни – 12 464, что составляет 15,4 % и 15,7 % от общего числа ДТП. Также самым аварийным за этот период стало время так называемых сумерек, с 17 до 18 часов – на этот период пришлось 5166 аварий, что составляет 6,5 % от общего числа ДТП [3]. Самой частой причиной ДТП является столкновение транспортных средств. На втором месте – наезд на пешехода, где ранено 22 325 человек и погибло 2731 человек. При этом на пешеходных переходах было совершено 5707 ДТП (7,2 % от общего числа ДТП), где ранено 5924 и погибло 343 человека.

По правилам дорожного движения на нерегулируемых пешеходных переходах пешеходы могут выходить на проезжую часть после того, как оценят расстояние до приближающихся транспортных средств, их скорость и убедятся, что переход будет для них безопасен [4]. Водитель транспортного средства, приближающегося к такому переходу, обязан остановиться перед ним, чтобы пропустить пешеходов, переходящих проезжую часть или вступающих на нее. Но бывают ситуации, когда своевременно заметить пешехода не представляется возможности.

К причинам, из-за которых чаще всего совершаются наезды на пешеходов на нерегулируемом пешеходном переходе, можно отнести следующее: темная и неприметная одежда пешеходов, которую трудно заметить в темное время суток; отсутствие освещения территории пешеходного перехода. Также совершению ДТП сопутствуют плохие погодные условия, неудовлетворительные условия содержания и обустройства улично-дорожной сети, а также нарушение правил дорожного движения водителями автомобилей. Вариант использования автоматизированных систем для слежения за нарушениями на пешеходных переходах рассматривался ранее [5].

Результат эксперимента, представленный на рис. 1, проводимый интернет-порталом Izhlife.ru [6], показывает, как в темное время суток водитель видит пешехода с расстояния 25 м.



Рис. 1. Видимость пешехода в темное время суток

Из рисунка видно, что пешеход № 1, одетый в темную одежду, сливается с фоном и виден лишь его силуэт. Пешеходы № 2 и 3, в светлых элементах одежды, становятся более заметными водителю, но все равно не привлекают явного внимания.

В 2014 году Госдума РФ увеличила количество часовых поясов в стране с 9 до 11 и установила в ряде из них новое поясное время [7]. В связи с этим Удмуртская Республика стала занимать UTC+4 часовой пояс, в результате чего значительно уменьшилась продолжительность светового дня. Начиная с сентября по апрель его длительность не превышает 12 часов. На рис. 2 представлена диаграмма изменения светового дня в городе Ижевске.



Рис. 2. Диаграмма продолжительности светового дня в г. Ижевске

Из диаграммы видно, как меняется продолжительность светового дня в течение года, при этом темное время суток за год составляет примерно 50 %. Но если учитывать время сумерек, на которое приходится пик аварий, то это число вырастет до 54 %.

Для того чтобы водитель смог вовремя среагировать на движущегося пешехода и уступить ему дорогу, предлагается разработка и внедрение аппаратного комплекса обеспечения безопасности движения на нерегулируемых пешеходных переходах.

Концепция комплекса заключается в следующем: перед проезжей частью и за несколько метров до нее на сигнальных столбиках предлагается установить датчики движения пешеходов, срабатывание которых позволит передать сигнал на дополнительное устройство освещения (рис. 3).

В качестве регистратора движения предлагается использовать инфракрасные или микроволновые датчики. Инфракрасный датчик, устанавливаемый на сигнальном столбике, имеет передатчик, который излучает электромагнитную волну инфракрасного диапазона (ИК), а приемник, установленный на противоположном столбике, регистрирует этот сигнал. Работа микроволнового датчика заключается в излу-

чении высокочастотных (ВЧ) электромагнитных волн и принятии отраженной волны от панели, установленной на противоположном столбике (рис. 4).

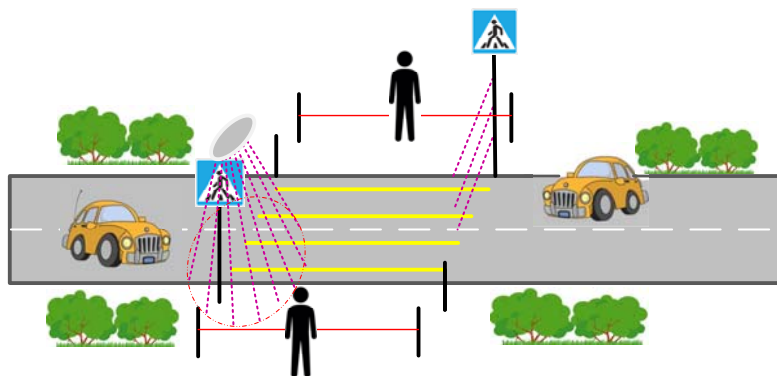


Рис. 3. Схема работы комплекса

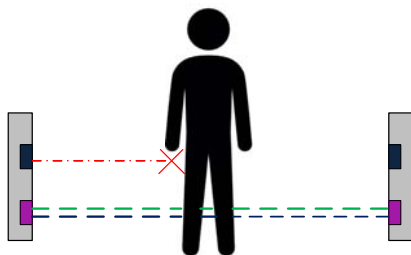


Рис. 4. Принцип работы датчиков движения: 1 – передатчик ИК-сигнала; 2 – регистратор ИК-сигнала; 3 – прямо-передатчик ВЧ-сигнала; 4 – волноотражающая панель ВЧ-сигнала

В случае обнаружения изменений отраженной электромагнитной волны или исчезновения ИК-сигнала на приемнике, микропроцессор устройства приводит в действие заложенную в него функцию. Совместное же использование этих датчиков позволит точно передавать данные о присутствии пешехода на пешеходном переходе.

В случае срабатывания микропроцессора сигнал о присутствии пешехода или животного на пешеходном переходе передается на дополнительный источник освещения. Для этого можно установить светильники GSS, которые в качестве источника света используют светодио-

ды. Для привлечения внимания водителя можно выбрать светодиоды, излучающие цвет отличный от цвета уличных фонарей (красный, фиолетовый и т. п.). Также использование светодиодов позволит снизить затраты на электроэнергию и их обслуживание.

Устанавливать светильники нужно так, чтобы освещался участок тротуара, где стоит пешеход и ближний к нему участок проезжей части. Возможна фиксация светильника на столбе крепления дорожного знака «Пешеходный переход», но выше самого знака, для охвата нужного участка (рис. 3). Также возможно его размещение на отдельном столбе или столбе освещения. Питание светильника возможно от ЛЭП или от аккумулятора.

Также возможно применение светодиодов для создания проекции на проезжую часть. Приближаясь к переходному переходу, водитель будет видеть перед собой направленные лучи от одной части обочины до другой (рис. 3).

Установка данного аппаратного комплекса позволит сократить случаи дорожно-транспортных происшествий на нерегулируемых пешеходных переходах.

### Список литературы

1. Беда километрами [Электронный ресурс] // Российская газета [Сайт]. – URL: <http://www.rg.ru/2011/05/12/bezopasnosti-dvigjenia.html> (дата обращения: 17.11.2015).
2. Великая Эпоха. Самое большое количество аварий в России приходится на выходные [Электронный ресурс] // Великая эпоха [Сайт]. – URL: <http://www.epochtimes.ru/samoe-bolshoe-kolichestvo-avarij-v-rossii-prihoditsya-na-vyhodnye-98999851/> (дата обращения: 17.11.2015).
3. *Алексеева, Е.* Статистика ДТП: пик аварий приходится на воскресенье [Электронный ресурс] // За рулем [Сайт]. – URL: <http://www.zr.ru/content/news/797844-statistika-dtp-pik-avarij-prihoditsya-na-voskresene/> (дата обращения: 16.10.2015).
4. Правила дорожного движения Российской Федерации 2015 г. – М. : Мир автокниг, 2015. – 64 с.
5. Аппаратно-программный телекоммуникационный комплекс безопасности пешеходного перехода / А. П. Караваева, Л. Д. Ахатова, А. И. Нистюк, М. М. Павлова // Приборостроение в XXI веке – 2014. Интеграция науки, образования и производства : сб. мат. X Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2015. – С. 399–403.
6. *Александрова, А.* В Удмуртии 4 пешеходов сбили насмерть в темное время суток [Электронный ресурс] // Izhlife.ru [Сайт]. – URL: <http://izhlife.ru/crime/55985-v-udmurtii-4-h-peshehodov-sbili-nasmert-v-temnoe-vremya-sutok.html> (дата обращения: 15.11.2015).

7. Госдума установила в России 11 часовых поясов [Электронный ресурс] // Портал южного региона Россия [Сайт]. – URL: <http://www.yuga.ru/news/336284/> (дата обращения: 17.10.2015).

## **Hardware system of provision a safety on unregulated crosswalks**

**Abstract.** *According to statistics, the highest number of road accidents on unregulated pedestrian crossings occurs in the dark and twilight. In order that the driver can see a moving pedestrian in time and can stop, proposed hardware system to ensure traffic safety on unregulated pedestrian crossings. Detected by sensor moving of man to the road would trigger an additional lighting system.*

**Keywords:** safety, unregulated pedestrian crossing, motion sensor, additional lighting.

М. А. Рогожников, аспирант  
Е. Д. Сметанина, магистрант  
E-mail: rogozhnikov.max@gmail.com  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Разработка прототипа SaaS-систем управления микроклиматом в тепличных хозяйствах

*В статье определены требования к SaaS-системе управления микроклиматом в тепличных хозяйствах. Проведен анализ существующих NoSQL-баз данных (БД). Разработан и экспериментально исследован вариант прототипа SaaS-системы.*

**Ключевые слова:** PaaS, SaaS, микроконтроллеры, микроклимат, управление температурой.

Создание благоприятного микроклимата в теплицах и открытых грунтах для выращивания растений является нетривиальной задачей, требующей большого количества знаний, опыта и технических средств ввиду большого количества факторов, влияющих на данный процесс.

Развитие концепции «Умный дом», а в рамках нее «Интернет вещей» (IoT) является мировым трендом [1], набирающим обороты популярности с каждым днем.

Основные требования, предъявляемые к SaaS-системам управления:

- поддержка большого количества управляющих устройств и датчиков;
- возможность подключения к сети Интернет;
- наличие графического интерфейса для управления системой;
- возможность удаленного управления системой с помощью смартфонов, планшетов и ноутбуков.

В настоящее время на рынке присутствует множество систем автоматизации выращивания растений, но систем, использующих облачную архитектуру или управление через Интернет с помощью готовых мобильных приложений, в настоящее время не так много.

Для решения данной проблемы было решено разработать архитектурную схему системы (рис. 1).

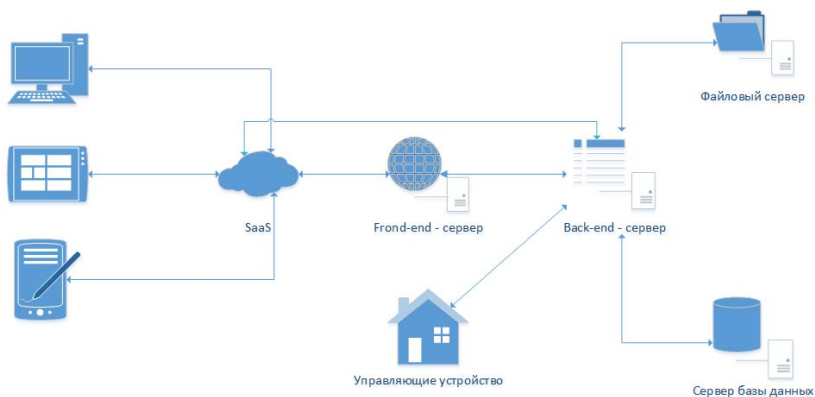


Рис. 1. Архитектурная схема работы системы

Как видно из схемы, все запросы от клиентов поступают в облачный SaaS-сервер, откуда они передаются на Back-end-часть системы которая обрабатывает запросы и, оперируя данными из базы данных, формирует управляющие и информационные запросы. Управляющие запросы поступают непосредственно на устройство управления (теплица, горшок и т. д.), подключенное к системе по средствам канала Internet. Информационные запросы поступают на Front-end-часть системы, отвечающей за отображение данных о текущем состоянии микроклимата в теплице. Также данная часть системы отвечает за графическое управление всей системы и выбор режимов выращивания растений. В результате была получена архитектура прототипа SaaS-системы.

Прототип лицевой части системы представляет собой страницу на HTML с подключенным JS и CSS. Основная задача, выполняемая системой на данном этапе, – это проверка корректности сборки всего прототипа и работоспособности отдельных его модулей. В результате была написана web-страница, которая выполняла запрос к back-end-части системы (рис. 2).

### Test page link DB

humidity:

temperature:

toLog path:

Рис. 2. Тестовая страница



Данная страница производит обращение к серверной части системы путем отправки запроса на внесение новых значений температуры и влажности в БД и выгрузки текущей информации в лог-файл «text».

Для реализации сервера базы данных была выбрана NoSQL-система [2], т. к. она обладает легкой горизонтальной и вертикальной масштабируемостью, быстрой скоростью доступа к данным включая операции записи, настраиваемую структуру хранения данных, что является актуальной проблемой из-за реализации экспертной системы на основе данной БД. Было произведено сравнение [3–4] возможностей NoSQL-систем для выбора наиболее подходящей БД, результаты сравнения представлены в таблице.

### Сравнение возможностей NoSQL

|                          | Cassandra          | CouchDB                 | Hbase                      | MongoDB      | Riak                     |
|--------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|
| Модель данных            | Семейства столбцов | Документы               | Семейства столбцов         | Документы    | Ключ / значение          |
| API запросы              | Thrift             | Map / Reduce            | Thrift, REST               | Cursor       | Nested hashes, REST      |
| Система хранения данных  | Memtable/ SSTable  | Append-only-B-tree      | Memtable / SSTable on HDFS | B-tree       | Hash                     |
| MapReduce                | нет                | JS                      | Hadoop                     | JS           | JS, Erlang               |
| Производительные запросы | CQL                | Временные представления | Слабая поддержка           | Полный набор | Слабая поддержка, Lucene |

В качестве БД была выбрана NoSQL MongoDB [5], т. к. она поддерживает полноценный язык запросов, aggregation framework, может работать совместно с node.js, имеет большой набор индексов, а также поддерживает репликацию данных и сегментирование.

Веб-сервером обработки была выбрана программная платформа Node.js [6]. Основные преимущества использования данной платформы – это высокая производительность, событийный механизм обработки запросов, что дает асинхронный режим работы [7]. Node.js также совместим с MongoDB и использует JSON-запросы.

Вся система развернута, настроена и базируется на PaaS-платформе Microsoft Azure [8]. Данная платформа была выбрана ввиду того, что она доступна бесплатно по программе Microsoft Start-up и имеет все необходимые функции: облачная служба Node.js на базе модуля Express, разработка приложения Node.js в Windows Azure с хранилищем в MongoDB (на платформах Windows, Mac, Linux), абстракция от

инфраструктуры, общая и многопоточная структура вычислений. Также в будущем оплата производится только за потребленные ресурсы, что значительно удешевляет затраты на работу SaaS-системы.

Анализ и разработка SaaS-системы выполняются в рамках программы «УМНИК» фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

### Список литературы

1. *Найдич, А.* «Интернет вещей» – реальность или перспектива? [Электронный ресурс] // КомпьютерПресс [Сайт]. – Дата публикации: декабрь 2013. – URL: <http://compress.ru/Article.aspx?id=24290> (дата обращения: 1.08.2015).
2. Базы данных SQL, NoSQL и различия в моделях баз данных [Электронный ресурс] // DEVACADEMY [Сайт]. – URL: <http://devacademy.ru/posts/sql-nosql/> (дата обращения: 1.08.2015).
3. *Зиновьев, А.* Выбор NoSQL базы данных для вашего проекта: «Не в свои сани не садись» [Электронный ресурс] // SlideShare [Сайт]. – Дата публикации: 8.12.2013. – URL: <http://www.slideshare.net/zaleslaw/nosql-29011549> (дата обращения: 10.08.2015).
4. *Махоткин, А.* Базы данных и NoSQL [Электронный ресурс] // Алексей Махоткин. Домашняя страница [Сайт]. – Дата публикации: 12.08.2014. – URL: <http://squadette.ru/blog/2014/08/12/bazy-dannykh-i-nosql/> (дата обращения: 19.08.2015).
5. MongoDB [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mongodb.org/> (дата обращения: 5.08.2015).
6. Node.js [Электронный ресурс]. – URL: <https://nodejs.org/> (дата обращения: 5.08.2015).
7. *Баранок, А.* Node.js. Основные понятия и технологии создания веб-приложений [Электронный ресурс] // LA.BY. Облачные технологии. Программное обеспечение [Сайт]. – Дата публикации: 19.11.2012. – URL: <http://la.by/blog/nodejs-osnovnye-ponyatiya-i-tehnologii-sozdaniya-veb-prilozheniy> (дата обращения: 3.08.2015).
8. Microsoft Azure [Электронный ресурс]. – URL: <http://azure.microsoft.com/ru-ru/> (дата обращения: 1.08.2015).

## The development of SaaS systems prototype for climate control in greenhouses

**Abstract.** *The article defines the requirements in SaaS system climate control in greenhouses. The analysis is of the existing NoSQL database (DB). Developed and experimentally investigated SaaS version of the prototype system.*

**Keywords:** PaaS, SaaS, microcontrollers, microclimate, temperature control.

*И. В. Родионова*, студентка  
*А. И. Нистюк*, д-р техн. наук, проф.  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Технологии тактильной обратной связи телекоммуникационных устройств**

*Рассматриваются технологии тактильной обратной связи сенсорных экранов и их принципы построения. Авторами предложена классификация этих технологий. Анализ показал, что наиболее распространенными и перспективными технологиями являются технологии на основе вибраций экрана.*

**Ключевые слова:** телекоммуникации, тактильная обратная связь, сенсорная технология.

Популярность сенсорных экранов в качестве входных пользовательских устройств растет быстрыми темпами. Потребители всех сегментов рынка – от промышленности до бытовой электроники – продолжают испытывать потребность в более совершенных человеко-машинных интерфейсах. Одним из последних достижений в области сенсорных интерфейсов стало использование тактильной обратной связи, или сенсорной технологии, которая обеспечивает мгновенное и безошибочное подтверждение контакта между пользователем и системой [1–3].

Эта возможность была реализована с целью улучшить взаимодействие системы с пользователем. Кроме того, разработчики устройств снабжают интерфейс интуитивно понятными тактильными подсказками и тем самым минимизируют сложность данной функции.

В то время как появление основных вычислительных сенсорных экранов представило преимущества удобства для многих пользователей компьютеров, люди с нарушениями зрения часто испытывают значительные трудности при взаимодействии с пользовательским интерфейсом сенсорного экрана. Одной из главных особенностей сенсорных экранов является их способность напрямую управлять информацией с пальцев на поверхности экрана, но эта возможность часто создает проблемы для слепых пользователей, которые не могут видеть или чувствовать визуально представленную информацию.

Визуальные интерфейсы требуют значительного внимания оператора, а постоянные короткие взгляды на экран и снижение способности поддерживать внимание на основных операциях управления связано с возрастающими рисками.

На сегодняшний день на этой основе создано несколько технологий, позволяющих не только видеть изображения на сенсорном экране, но и считывать, ощущать их с помощью тактильных органов человека. Это способствует улучшению производительности пользователя, уменьшению ошибок и увеличению точности и скорости при вводе информации. По данным исследований, тактильная обратная связь обеспечивается для превосходного введения данных.

Технологии тактильной обратной связи имеют различную природу происхождения, но при этом все сводятся к улучшению восприятия информации и контакта с сенсорным экраном.

Среди наиболее распространенных технологий следует выделить *Haptic Touch Screen* – технологию, имеющую механическую природу обратной связи. В ней роль источника ощущения играет вибрация, присутствующая в любом современном гаджете. В основе технологии лежит актуатор – устройство, которое воспроизводит тактильную обратную связь между мобильным устройством и пользователем. Размещение нескольких актуаторов под разными углами экрана позволяет улучшить эту связь и существенно меняет картину восприятия [4].

Компания *Immersion* усовершенствовала данную технологию и разработала технологическую новинку *TouchSense Haptic System*, разместив нескольких актуаторов под разными углами экрана. Это позволило улучшить связь устройства с человеком и существенно изменило картину восприятия. База *TouchSense* – это актуатор, состоящий из пьезоэлемента или вибропривода, который монтируется под поверхностью сенсорного экрана. Количество и размер актуаторов зависит напрямую от желания и требования пользователя, иметь в наличии продвинутую версию тактильной отдачи. Однако на деле решение компании *Immersion* ушло не очень далеко от стандартного встраивания актуатора в гаджеты. В каждом раскладе при помощи малого количества виброприводов существует возможность получения образного тактильного представления об элементе, который был нажат. В данном случае не представляется возможным распознать вид и форму нажатого элемента [4].

Ученые Федерального политехнического института в Лозанне (Швейцария) – *EPFL* – предложили один из путей выхода из данной проблемы. Прототип их haptic-системы, именуемый *EPFL-дисплей*, в качестве актуаторов использует матрицу пьезоэлементов, располо-

женную под сенсорной поверхностью экрана. Благодаря небольшим размерам этих пьезоэлементов программное обеспечение, управляющее ими, позволяет сформировать тактильное воздействие, при котором пользователь может почувствовать границы нажимаемого им элемента интерфейса [4].

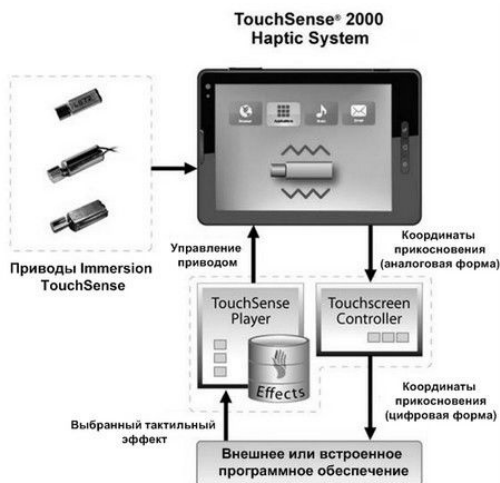


Рис. 1. Нaptic-решение Immersion – многоточечная вибронадстройка для существующих сенсорных экранов различного размера

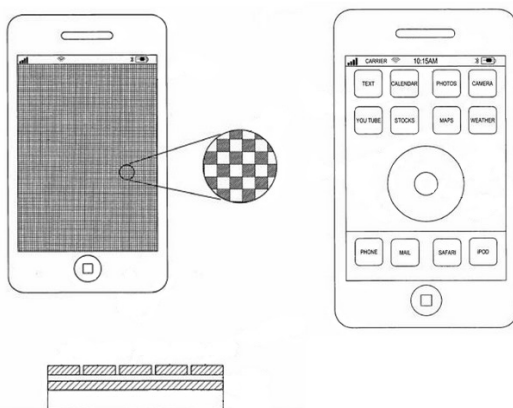


Рис. 2. Главная идея швейцарских EPFL-дисплеев – массив миниатюрных пьезоэлементов, расположенных под сенсорной поверхностью

Схожий принцип действия имеет технология *UltraHaptics*, предложенная исследователями из Бристольского университета (Великобритания). Но вместо матрицы пьезоэлементов используется фазированный массив ультразвуковых преобразователей. Принцип заключается в формировании направленных ультразвуковых волн, которые оказывают давление на пальцы и ладони пользователя. Регулируя частоту колебаний, можно создавать тактильную обратную связь различной интенсивности, которую можно чувствовать даже не прикасаясь к сенсорному экрану [5].

Однако не все технологии основаны на механическом варианте тактильной обратной связи. Финская компания *Senseg* предложила технологию *Senseg Tixel* (от tactile pixel – осязаемый пиксель), имеющую электростатическую природу. Она основана на законе Кулона, где палец представляется в виде системы разнополюсных точечных зарядов, а под поверхность экрана помещается электрическая схема с электродами противоположных зарядов. Взаимодействие этих точечных зарядов влияет на тактильные ощущения в пальце и имитирует изменение текстуры поверхности экрана. В совокупности с визуальным образом элемента и соответствующим звуковым сопровождением получается добиться максимального тактильного отклика [4].

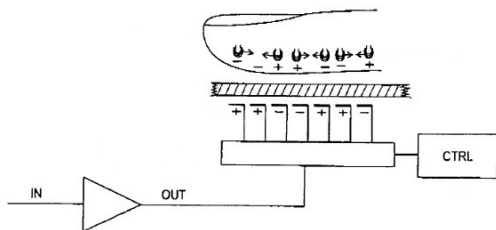


Рис. 3. Закон Кулона в дисплеях Senseg работает между точечными зарядами внутри пальца пользователя и противоположно заряженными электродами

Уникальную технологию представила и компания *Microsoft*, разработав трехмерный сенсорный экран, оснащенный системой тактильной отдачи (*Actuated 3-D Display with Haptic Feedback*). При помощи специальной руки-манипулятора, перемещающей экран вперед-назад, пользователь может буквально пощупать предметы, которые видит на экране. Передача тактильных ощущений передается за счет движения экрана. Данная технология позволяет передать форму, размер, массу объекта, потрогать и переместить предметы, отображаемые на экране.

В качестве недостатка можно выделить использование только визуальных эффектов и, как следствие, невозможность использования данной технологии для лиц с нарушениями зрения или в автомобиле [6].

Таким образом, распространенные технологии тактильной обратной связи подразделяются на 3 группы: технологии, имеющие механическую природу, технологии, использующие электростатическое взаимодействие, и технологии на основе визуальных эффектов.

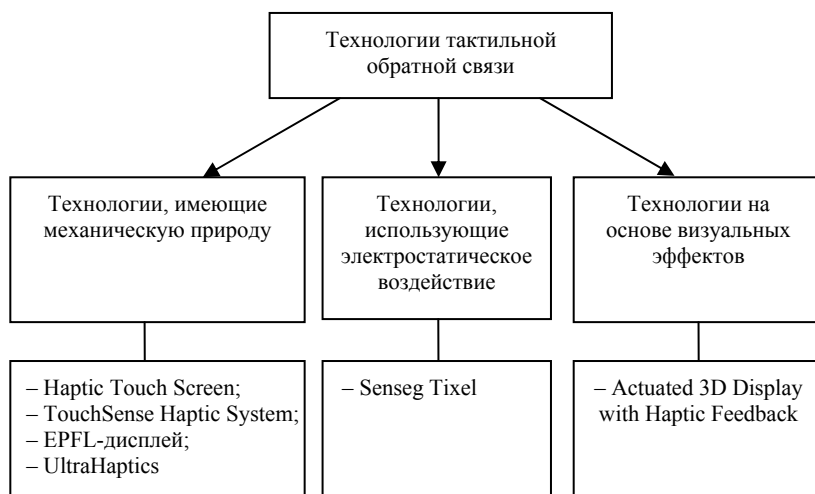


Рис. 4. Классификация технологий тактильной обратной связи

#### **К достоинствам относятся:**

- простота интерфейса;
- сочетание небольших размеров с крупным экраном;
- расширенные мультимедийные возможности устройства;
- быстрый набор;
- повышенная точность и производительность;
- тактильная отдача.

#### **Среди недостатков можно выделить:**

- высокое энергопотребление;
- проблемы с гигиеной экрана;
- неудобство длительного использования стационарных аппаратов (при продолжительной работе с вертикальной панелью приходится долгое время держать руку на весу, а при работе с горизонтальными панелями рука перекрывает обзор).

В результате анализа вариантов различных технологий было отмечено, что наиболее распространенными и перспективными технологиями являются технологии на основе вибраций экрана.

### Список литературы

1. *Nistyuk, A.* “Mathematical base of technology of tactile feedback in devices with the touch screen,” in 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, September 12–13, 2013. IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN: 978-1-4799-1060-1. DOI: 10.1109/SIBCON.2013.6693612. – Pp. 1–4.

2. *Нистюк, А. И.* Технология тактильной обратной связи в устройствах с сенсорным экраном // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2012. – № 3(7). – С. 66–68.

3. *Васильев, О. И.* Телекоммуникационные устройства с тактильной обратной связью / О. И. Васильев, О. С. Карпов, А. И. Нистюк // 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. – С. 364–368.

4. *Лебедеенко, Е.* Технология Senseg Tixel: новый взгляд на тактильные дисплеи» [Электронный ресурс] // mobi.ru [Сайт]. – Дата размещения: 28.12.2011. – URL: [http://www.mobimag.ru/Articles/5289/Tehnologiya\\_Senseg\\_Tixel\\_novyi\\_vzglyad\\_na\\_taktilnye\\_displei.htm](http://www.mobimag.ru/Articles/5289/Tehnologiya_Senseg_Tixel_novyi_vzglyad_na_taktilnye_displei.htm) (дата обращения: 13.06.2016).

5. *Парамонов, В.* Ultrahaptics: тактильная обратная связь на основе ультразвука [Электронный ресурс] // Компьюлента [Сайт]. – Дата обращения: 08.10.2013. – URL: <http://compulenta.computerra.ru/tehnika/devices/10009382> (дата обращения: 09.2015).

6. Microsoft разработала сенсорный 3D-экран с тактильной отдачей [Электронный ресурс] // Хабрахабр [Сайт]. – Дата размещения: 05.07.2013. – URL: <http://habrahabr.ru/post/185652> (дата обращения: 13.06.2016).

7. *Нистюк, А. И.* Технология тактильных ощущений объема изображений на сенсорном экране // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 2(20). – С. 120–122.

## Haptic feedback technology of telecommunication devices

**Abstract.** *We consider the technology of tactile feedback for touch screens and construction principles. The authors propose a classification of these technologies. The analysis showed that the most common and promising technologies are technologies based on vibration of the screen.*

**Keywords:** telecommunications, tactile feedback, sensor technology.



*В. А. Сидорина*, канд. пед. наук, доц.

*С. Г. Касимова*, студентка

E-mail: [vasidorina@mail.ru](mailto:vasidorina@mail.ru)

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Использование методов эффективного информационного поиска в учебном процессе**

*В статье рассматриваются методы эффективного информационного поиска в учебном процессе, являющиеся основой для создания общепрофессиональных компетенций.*

**Ключевые слова:** поиск информации, учебный процесс.

Внедрение в учебный процесс современных компьютерных технологий продиктовано временем. Для формирования информационной компетентности студентам необходимо грамотно находить и структурировать информацию, используя информационные ресурсы сети Интернет и специализированные базы данных в профессиональных целях [1].

Наше исследование посвящено проблеме поиска информации, которая является одной из наиболее распространенных и одновременно наиболее сложных задач, с которыми приходится сталкиваться в Интернете студентам технического университета. Актуальность заключается в том, что знание методов эффективного информационного поиска является основой для создания общепрофессиональных компетенций, таких как способностью «решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением инфокоммуникационных технологий» и «владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации» [2]. Существуют разнообразные средства поиска информации в сети Интернет. К ним относятся:

1. Поисковые машины – комплекс программ, обеспечивающих функциональность поисковых систем, то есть, это программная часть поисковых систем, например, Google, Яндекс. Главный недостаток заключается в выводе большого количества информации, и, как следствие, это требует значительного времени для ее обработки.

2. Мета-средства поиска, здесь происходит выполнение запроса с помощью передачи аргументов поиска (ключевых слов) одновременно нескольким поисковым системам. Этот способ ускоряет процесс поиска, но требует координации во времени поступления результатов обработки запроса от нескольких систем. В качестве примера можно привести открытую в апреле 2006 года визуальную поисковую систему с мета-средствами Quintura ([www.Quintura.ru](http://www.Quintura.ru)). Особенность поиска – это визуальное «облако», или карта, слов-ассоциаций между документами или картинками, которая является удобным навигатором по ним. Здесь используется концепция «Увидеть и Найти», которая позволяет визуально находить документы на русском языке и картинки с учетом морфологии русского языка. Из англоязычных метасредств следует отметить Internet Sleuth (<http://www.isleuth.com>). Эта система осуществляет поиск на русском языке, запускает до 10 поисковых систем, охватывает 1500 баз данных. Тематический поиск ведется с использованием большого количества периодических изданий различных стран.

3. Специализированные средства поиска, так называемые поисковые роботы – это программы, являющиеся составной частью поисковых систем и предназначенные для обхода страниц Интернета с целью занесения информации о них в базу данных поисковой системы, которые в автоматическом режиме просматривают web-страницы, отыскивая на них нужную информацию. Механизм их работы близок к механизму, который используют поисковые системы. [3]

4. Каталоги – это структуры, организованные иерархически, где данные заносятся по инициативе пользователей. Объем информации в этом случае меньше по сравнению с поисковой системой, но в силу иерархии тематики более упорядочен. В качестве примера можно привести Wikipedia (<https://www.wikipedia.org>), русский вариант этого каталога очень популярен у студентов.

Успешность поиска информации для студентов определяется знаниями возможных методов и навыками владения ими. При поиске в Интернете важны две составляющие – полнота (ничего не потеряно) и точность (не найдено ничего лишнего). Это можно определить как релевантность, то есть соответствие ответа вопросу поиска.

Процесс поиска информации представляет собой последовательность шагов, приводящих к некоторому результату. Поскольку студент обычно не имеет исчерпывающих знаний об информационном содержании ресурса, в котором проводит поиск, то оценить адекватность и полноту получаемой информации он может, основываясь на промежуточных результатах или сопоставляя их с предыдущими.

Таким образом, алгоритм поиска можно представить в следующем виде:

- 1) формирование запроса;
- 2) поиск с использованием одной из поисковых систем;
- 3) обзор полученных результатов;
- 4) получение результатов, просмотр полученных страниц.

Особую сложность у студентов представляет формирование запроса на естественном языке. Для этого кроме классических методов поиска по ключевым словам рассмотрим более эффективные методы поиска информации:

1. Поиск с помощью операторов алгебры логики. В этом случае поиск надо производить по нескольким ключевым словам с использованием следующих логических связок: AND (клавиши «+» или «&») означает, что информация содержит все термины, соединенные этим оператором; OR (клавиша «пробел») – найденный текст должен содержать хотя бы один из терминов, соединенных данным оператором; NOT (НЕ) – поиск документов, где в тексте отсутствуют слова, следующие за данным оператором.

2. Использование позиционных операторов. В этом случае поиск документов, в которых заданные слова расположены рядом друг с другом, в одном предложении или в одном абзаце, осуществляется с помощью специальных операторов. В разных поисковых системах они обозначаются по-разному: <NEAR>, <SENTENCE>, <PARAGRAPH> или (W), (S), (F), обозначающие, соответственно, «рядом», «в одном предложении», «в одном абзаце». Например, в поисковой системе Яндекс запрос «алгебра <SENTENCE> логика» даст документы, содержащие оба термина в одном предложении, всего выдается 89 тысяч ответов; а без использования этого оператора выдается 2 миллиона ответов.

3. Поиск по гипертекстовым ссылкам. Он заключается в последовательном просмотре с помощью браузера связанных ссылками web-страниц, так как все сайты Интернета связаны между собой гиперссылками. В этом случае удобно использование каталогов, тематических списков и справочников. Такой метод наиболее трудоемок, однако «ручной» просмотр web-страниц часто оказывается единственным возможным на заключительных этапах информационного поиска, требующего глубокого анализа.

4. Поиск с помощью составления тезауруса. Тезаурус – это организованный с учетом семантических отношений список ключевых слов.

Одним из подходов к составлению тезауруса может стать использование законов Ципфа [3]. Рассмотрим их. Существует частота вхож-

дения слова – это число, показывающее, сколько раз встречается слово в тексте. При расположении частот по мере убывания и их нумерации, порядковый номер частоты называется рангом. Вероятность обнаружения слова в тексте равно отношению частоты вхождения слова к числу слов в тексте.

При умножении вероятности нахождения того или иного слова на ранг частоты результат будет примерно одинаков для всех текстов в пределах одного и того же языка [4].

Это означает, что график зависимости ранга от частоты представляет из себя равностороннюю гиперболу.

Таким образом, процедура оптимального выбора ключевых слов с использованием законов Ципфа заключается в следующем: берут любой текст-источник, близкий к искомой теме (образец), анализируют его, выделяя значимые слова. В качестве источника может быть книга, статья, web-страница, любой другой документ. Анализ текста необходимо выполнить в следующем порядке:

1. Местоимения, частицы, предлоги удаляются в тексте.
2. Для каждого слова вычисляется частота вхождения.
3. Определяется список по убыванию частоты обнаружения слова.
4. Выбираются слова, находящиеся в середине списка.
5. Запрос, составленный из списка таких слов, связанных оператором «ИЛИ» позволяет в поиске найти тексты, в которых встречается хотя бы одно из перечисленных слов.
6. Число документов, полученных в результате поиска по этому запросу, может быть огромно. Но, благодаря ранжированию, то есть расположению в порядке убывания частоты вхождения в документ слов запроса, применяемому в большинстве поисковых систем, на первых страницах найденных ресурсов будут найдены необходимые документы.

Рассмотренные выше методы целесообразно использовать при изучении дисциплин «Информатика», «Информационные технологии», «Информатика (спецглавы)».

Таким образом, знание и использование эффективных методов поиска информации в учебном процессе и в самостоятельной работе позволит решать студентам сложные технические задачи.

#### Список литературы

1. Сидорина, В. А. Проблемный подход к проектированию межпредметных связей при обучении студентов / В. А. Сидорина, Е. М. Зайцева // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 7. – С. 193–195.

2. ФГОС по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» [Электронный ресурс]. – URL: <http://минобрнауки.рф/документы/5447> (дата обращения: 23.10.2015).

3. Успенский, И. В. Интернет-маркетинг : учебник. – СПб. : Изд-во СПбГУЭиФ, 2003. – 197 с.

4. Супонева, А. В. Управление маркетингом на предприятии с использованием современных информационных технологий: дисс. на соиск. учен. степ. канд. экон. наук (08.00.05). – М., 2005. – 172 с. – URL: <http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002771000/rsl01002771880/rsl01002771880.pdf> (дата обращения: 04.11.2015).

## **The use of effective information search in the educational process**

**Abstract.** *This article describes how to effectively search for information in the learning process, which are the basis for the creation of general competences.*

**Keywords:** information search, the learning process.

*В. А. Сидорина*, канд. пед. наук, доц.

*А. О. Михайлова*, студентка

E-mail: [vasidorina@mail.ru](mailto:vasidorina@mail.ru)

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Использование новых форм лекций в учебном процессе для студентов радиотехнического профиля**

*В статье рассматривается возможность повышения качества подготовки студентов технического вуза за счет введения в учебный процесс новых форм лекций для студентов радиотехнического профиля.*

**Ключевые слова:** лекция, формы лекции, учебный процесс.

Слово «лекция» происходит от латинского «lection» – чтение. Лекция появилась в Древней Греции, получила свое дальнейшее развитие в Древнем Риме и в средние века. Лекция – важнейшая форма цикла обучения, ее цель – формирование основы для последующего усвоения студентами учебного материала.

В учебном процессе складывается ряд ситуаций, когда лекционная форма обучения не может быть заменена никакой другой. Лекции выполняют различные функции, например информационную (в лекции излагаются необходимые сведения), разъясняющую (формирование основных понятий науки), стимулирующую (интерес к теме), развивающую (оценка явлениям, развитие мышления), убеждающую (с акцентом на системе доказательств).

В настоящее время наряду со сторонниками существуют противники лекционного изложения учебного материала. Мнение «противников» лекций как основной формы обучения в вузе:

1. Лекция тормозит самостоятельное мышление студентов, приучает к пассивному восприятию чужих мнений. Чем лучше лекция, тем эта вероятность больше.

2. Лекция не дает развития самостоятельной работы студентов.

3. На лекции одни студенты успевают записать и осмыслить слова лектора, другие – только механически записать.

Эти недостатки могут быть преодолены рациональным построением материала и применением различных форм лекций.

В учебном процессе высшей школы кроме традиционной формы лекции (лекция – информация) успешно используются новые формы: лекция-визуализация (с усиленным элементом наглядности), лекция-консультация, бинарная лекция, проблемная, лекция-конференция, лекция с заранее запланированными ошибками [1].

В настоящее время в Ижевском государственном техническом университете имени М. Т. Калашникова на кафедре «Радиотехника» активно используются лекции-визуализации, когда подготовка демонстрационных и методических материалов по чтению лекций происходит с использованием информационных технологий и мультимедийных средств [2]. Психологические и педагогические исследования показывают, что наглядность не только способствует более успешному восприятию и запоминанию учебного материала, но и позволяет активизировать умственную деятельность, помогает студентам глубже проникать в сущность изучаемых явлений [3].

Лекция-визуализация учит студентов преобразовывать устную и письменную информацию в визуальную форму, что формирует у них профессиональное мышление за счет систематизации и выделения наиболее значимых, существенных элементов содержания обучения.

Кроме лекции-визуализации большой интерес представляет проблемная лекция, которая начинается с вопросов, с постановки проблемы, которую в ходе изложения материала необходимо решить. Проблемные вопросы отличаются от непроблемных тем, что скрытая в них проблема требует неоднотипного решения, то есть готовой схемы решения нет.

С помощью проблемной лекции успешно происходит усвоение теоретических знаний; формирование интереса к содержанию учебного предмета, особенно по специальным дисциплинам, повышается профессиональная мотивация.

В начале лекции до получения новых знаний создается проблемная ситуация. Студентам необходимо самостоятельно найти решение проблемной ситуации. В традиционной лекции – наоборот, в начале преподаватель дает знания, способ или алгоритм решения, а затем примеры, которые можно решить предложенным способом.

Большой интерес вызывает использование бинарной лекции или лекции вдвоем. Здесь учебный материал проблемного содержания дается в диалоге двух преподавателей или преподавателя и студента. На лекции моделируются реальные профессиональные ситуации, обсуждаются с разных позиций теоретические вопросы.

При этом нужно стремиться к тому, чтобы общение демонстрировало совместный поиск решения проблемной ситуации с привлечени-

ем всех студентов, которые могут задавать вопросы, высказывать свою позицию и тем самым формировать свое отношение к обсуждаемому материалу лекции.

Применение лекции вдвоем эффективно на младших курсах для развития у студентов умения вести диалог, развивать культуру ведения дискуссии; на старших курсах – для формирования профессиональных компетенции.

Одной из трудностей проведения лекции вдвоем является непривычная для студентов ситуация, когда предлагается две точки зрения и требуется решить, какой придерживаться позиции, и обосновать ее. В классической лекции с одним преподавателем информация поступает только от одного источника, и диалог, как правило, отсутствует.

Еще одна сложность в подготовке бинарных лекций – это повышенные требования к подбору лекторов. Необходимо учитывать личностную совместимость, способность к импровизации и высокий уровень владения предметным материалом.

Большой интерес представляет лекция с заранее запланированными ошибками. Подготовка преподавателя к лекции состоит в том, чтобы заложить в ее содержание определенное количество ошибок, как правило, содержательного характера. Список таких ошибок преподаватель демонстрирует в конце лекции. Подбираются наиболее часто допускаемые ошибки, которые делают как студенты, так и преподаватели в ходе чтения лекции. Преподаватель проводит изложение лекции таким образом, чтобы ошибки были тщательно скрыты, и их не так легко можно было заметить студентам.

Опыт использования лекции с заранее запланированными ошибками показывает, что студенты, как правило, находят задуманные ошибки (в конце занятия преподаватель проводит список ошибок в лекции). Нередко они указывают и такие ошибки, которые были невольно допущены, например речевые. Преподаватель должен честно признать это и сделать для себя определенные выводы.

У студентов младших курсов такая форма проведения лекций развивает умения оперативно анализировать учебный материал, находить неверную информацию. На старших курсах такие формы лекций позволяют студентам оперативно анализировать профессиональные ситуации, выступать в роли экспертов, оппонентов, рецензентов.

На кафедре «Радиотехника» было проведено анкетирование студентов 1–3-х курсов, основная цель которого – выявление использования новых форм лекций в учебном процессе для студентов радиотехнического профиля. Опрос состоял из следующих этапов:



1. Составление анкеты.
2. Экспертиза анкеты.
3. Проведение опроса.
4. Обработка результатов анкетирования.
5. Вывод об ознакомленности наших студентов с различными формами лекций.

Анкета разработана студентами в ходе выполнения исследовательской работы при участии преподавателей кафедры «Радиотехника», текст анкеты представлен ниже.

### **АНКЕТА**

#### **Использование новых форм лекций в учебном процессе для студентов радиотехнического профиля**

Уважаемый студент!

Приборостроительный факультет ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» и кафедра «Радиотехника» проводит исследование, выявление использования новых форм лекций в учебном процессе для студентов радиотехнического профиля.

Просим вас принять участие в исследованиях. Для этого заполните, пожалуйста, предлагаемую анкету.

#### **1. Какие формы лекций вам известны:**

- А. Лекция-визуализация (с усиленным элементом наглядности).
- Б. Лекция-консультация.
- В. Бинарная лекция (лекция вдвоем).
- Г. Проблемная лекция (начинается с вопросов, с постановки проблемы).
- Д. Лекция-конференция.
- Е. Лекция с заранее запланированными ошибками.

**2. По вашему мнению, какие формы лекций используют преподаватели в ИжГТУ и на каких дисциплинах?**

**3. Какие формы лекций вам бы хотелось, чтобы преподаватели использовали на занятиях?**

**СПАСИБО!**

Экспертиза анкеты проведена группой преподавателей кафедры «Радиотехника». Был проведен анализ структуры анкеты, последовательности вопросов, формулировок вариантов ответов.

В анкетировании участвовали студенты первого, второго и третьего курсов кафедры «Радиотехника» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова в возрасте от 17 до 20 лет. Выборка составила 60 человек. В ходе анкетирования было определено, какие формы лекций известны студентам и какие формы лекций используют преподаватели при обучении. Было выявлено, что все 100 % студентов знакомы с лекцией-визуализацией, так как она успешно используется в учебном процессе на кафедре «Радиотехника». Лекция-консультация чаще применяется на третьем курсе, но студентам второго курса тоже известна эта форма. С бинарной лекцией наши студенты не знакомы, но высказали желание участвовать в таких лекциях. Лекция-конференция чаще всего применяется на первых курсах, на общих предметах, таких как «История», «Физика». 60 % студентов отметили, что проблемная лекция, начинающаяся с постановки проблемы, вопросов, – это «Философия». Лекции с заранее запланированными ошибками знакомы как студентам первого курса по лекциям «Информатика» и «Информационные технологии», так и студентам старших курсов.

Обработка результатов выполнена с использованием программы Microsoft Excel. Анализ анкетирования показал, что студенты знакомы со многими формами лекций, но в учебном процессе они используются редко. На данный момент чаще всего применяются лекции-визуализации. Многие студенты отметили однообразие лекционных занятий и высказали пожелание, чтобы преподаватели в учебном процессе использовали более разнообразные формы.

В настоящее время на кафедре «Радиотехника» разрабатывается методика использования различных форм лекции, которая поможет преподавателям сочетать традиционные и новые способы, методы обучения для достижения главной цели образовательного процесса – повышения качества подготовки студентов радиотехнического профиля и как результат – формирование компетентного, грамотного и востребованного на рынке труда специалиста.

### Список литературы

1. *Бордовская, Н. В.* Педагогика / Н. В. Бордовская, А. А. Реан. – СПб. : Питер, 2006. – С. 103–104.
2. *Сидорина, В. А.* Особенности педагогической технологии управления развитием информационной компетентности студентов в техническом вузе / В. А. Сидорина, Е. М. Зайцева // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. – № 7. – С. 194–196.

3. Солнцева, Н. В. Управление в педагогической деятельности : учеб. пособие. – М. : Флинта, 2012. – 130 с.

### **The use of new forms of lectures in the learning process for students of radio engineering**

**Abstract.** *The possibility of improving the quality of training of students of a technical college , due to the introduction in the educational process of new forms of lectures for students of radio engineering profile.*

**Keywords:** the lecture , lectures, educational process.

*П. А. Спиридонова*, студентка

E-mail: spiridonowa@inbox.ru

*А. И. Нистюк*, д-р техн. наук, проф.

E-mail: nai@udm.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Тактильные ощущения на плоском экране

*Рассматриваются технологии, позволяющие испытывать тактильные ощущения при оперировании плоским экраном, основные средства и технологии для повышения уровня комфорта при использовании телекоммуникационных устройств.*

**Ключевые слова:** тактильные ощущения, экран, вибрации, вибровзвонк, надежность.

Рассмотрим три наиболее распространенные технологии, реализующие тактильные ощущения на экране: на основе пьезоэлектрического эффекта, на основе электростатического поля и на основе вибраций экрана [1].

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 [2].

Самая распространенная технология основана на вибрации. Основной генератор вибраций являются актуаторы, которые присутствуют в любом смартфоне или планшете и выполняют функцию вибровзвонка [3]. Для увеличения тактильной отдачи иногда увеличивают их количество [4].

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 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 [5].

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 амплитудой возможно и другими устройствами [6].

Модель виброзвонка представлена на рис. 1 и является самой распространенной и типичной конструкцией. Виброзвонок представляет собой электродвигатель с неуравновешенной массой на оси. Данная модель представляет собой систему с динамическим возбуждением [7]. Система с динамическим возбуждением ведет себя так, как показано на рис. 2, где величина  $\mu$  называется коэффициентом динамичности.

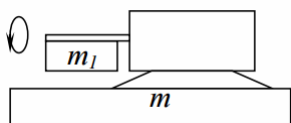


Рис. 1. Динамическая модель актуатора с неуравновешенной массой:  $m$  – колеблющаяся масса;  $m_1$  – неуравновешенная масса

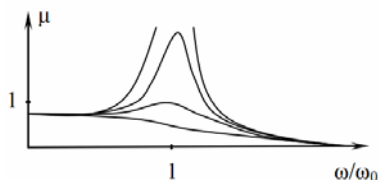


Рис. 2. Изменение коэффициента динамичности от расстройки

Коэффициент динамичности показывает отношение амплитуды вынужденных колебаний системы к ее смещению под действием статически приложенной силы. Следовательно, 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 так же 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 ее 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 еще одну возможность. Причем реализация осуществима с минимальными издержками.

Для много массовых колебательных систем, усиливающих ощущение объема, можно применить методики увеличения амплитуды, изложенные в [4].

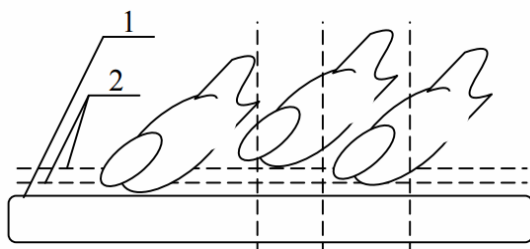


Рис. 3. Изменение амплитуды вибрации экрана при касании к нему в различных местах изображения: 1 – поверхность экрана; 2 – различные амплитуды вибраций в зависимости от места касания

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 некоего 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. *Kingsley-Jones, S.* Сенсорный экран с тактильной обратной связью // Электронные компоненты. – 2008. – № 10. – С. 37–38.

2. *Нистюк, А. И.* Технология тактильных ощущений объема изображений на сенсорном экране // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 2(20). – С. 120–122.

3. *Нистюк, А. И.* Технология тактильной обратной связи в устройствах с сенсорным экраном // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2012. – № 3. – С. 66–68.

4. *Nistyuk, A.* “Mathematical base of technology of tactile feedback in devices with the touch screen,” in International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), Krasnoyarsk, 2013, pp. 1–4.

5. *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. – 2012. – № 1(25). – С. 39–49.

6. *Барбашин, Д. И.* Моделирование передних панелей телекоммуникационных устройств / Д. И. Барбашин, А. И. Нистюк // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 2(50). – С. 163–165.

7. 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 : сб. тр. II Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 23–25 апр. 2013 г.) – Ижевск, 2013. – С. 532–534.

## **Tactile sensations on a flat screen**

**Abstract.** *Flat screen does not give the sense of volume of images. The vibrations of the screen will help you to feel the image. Different pieces of felt in different ways. The authors propose a methodology for the study of the sensitivity of the operator. The telecommunications device to improve its reliability control.*

**Keywords:** tactile feeling, screen, vibrations, telecommunications device, reliability.



*В. В. Хворенков*, д-р техн. наук, проф.,  
проректор по учебной работе  
*Д. Г. Мосунов*, аспирант  
E-mail: di.201@yandex.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Выбор навигационных приемников для оснащения устройств и систем радиосвязи**

*В статье рассматриваются навигационные приемники для оснащения устройств и систем радиосвязи как отечественных, так и зарубежных производителей. Представлены их сравнительные характеристики.*

**Ключевые слова:** навигационный приемник, спутниковая система навигации ГЛОНАСС, GPS.

Для определения текущих координат используется приемник спутниковой навигации. Он применяется в самых различных областях: системах телекоммуникаций, на всех видах транспорта, системах безопасности, системах мониторинга и т. д.

Мировой рынок приемников навигационных систем оценивается миллиардами долларов в год. Потребность российского рынка в приемниках ГЛОНАСС/GPS оценивается миллионами штук в год. Во множестве применений эти приемники – переносные, к ним предъявляются такие жесткие требования, как малый вес, габариты и малое энергопотребление, которые можно обеспечить только при самой современной элементной базе, такой как СБИС «система на кристалле».



*Рис. 1.* Навигационные приемники

На сегодняшний день на отечественном рынке существует несколько крупных производителей навигационных приемников. К таким производителям относятся: ОАО «Ижевский радиозавод»,

г. Ижевск [1]; ООО «НАВИА», г. Санкт-Петербург [2]; ООО КБ «Гео-Стар навигация», г. Москва [3]; ЗАО «КБ НАВИС», г. Москва [4]. Продукция данных производителей представлена на рис. 1. Существуют и другие производители, но их продукция значительно уступает представленной, так как имеет большие габаритные размеры, массу, ток потребления и т. д.

Представленные приемники поддерживают как отечественную систему спутниковой навигации ГЛОНАСС, так и американскую систему GPS, обладают высокими техническими характеристиками (см. табл. 1 и 2), имеют различные интерфейсы ввода/вывода информации, небольшие размеры и низкий уровень энергопотребления, обладают достаточно широким диапазоном рабочих температур, высокой чувствительностью и малой погрешностью определения координат.

**Таблица 1. Технические характеристики навигационных приемников**

| Наименование параметра   | ML8088s   | МНП-М7  |
|--|---|---|
| Производитель  | ООО «НАВИА»,<br>Санкт-Петербург   | ОАО «Ижевский<br>радиозавод»,<br>Ижевск                 |
| Количество каналов сопровождения   | 32  | 24  |
| Частотный диапазон GPS, МГц  | 1575,42 ± 0,5   | 1575,42   |
| Частотный диапазон ГЛОНАСС, МГц  | 1597,5...1605,9   | 1598,0625...1608,75                                     |
| Погрешность определения координат, не более, м   | 3 в плане<br>4 по высоте  | 5 в плане<br>10 по высоте                               |
| Погрешность определения плановой скорости, не более, м/с   | ±0,05   | ±0,03   |
| Погрешность синхронизации секундной сетки времени к шкалам времени GPS, ГЛОНАСС, UTC, TC(SU), не более, нс | ±20   | ±100  |
| Время первого определения навигационных параметров, не более, с  | 35 холодный старт<br>34 теплый старт<br>4 горячий старт<br>1 повторный захват | 40 холодный старт<br>35 теплый старт<br>5 горячий старт |
| Чувствительность по обнаружению, не хуже, дБм  | -145 холодный старт<br>-145 теплый старт<br>-152 горячий старт                | -140  |
| Чувствительность по слежению, дБм  | -158 в статике<br>-155 в динамике<br>-151 в динамике                          | -160  |

Окончание табл. 1

|   |   |                           |
|---|---|---------------------------|
| Наименование параметра  | ML8088s   | МНП-М7                    |
| Система подавления помех  | 3-уровневая   | –                         |
| Интерфейс обмена  | 2 × RS232<br>(3,3В LVCMOS), USB   | 2 канала UART<br>(LVTTTL) |
| Максимальная скорость, м/с                                      | 515   | 515                       |
| Темп выдачи выходных данных, Гц                                 | 0,1...1, 5  | 1...10                    |
| Основное напряжение питания, В                                  | 3,0...3,6   | 2,8...3,6                 |
| Резервное напряжение питания, В                                 | 2,0...3,6   | 2,0...3,6                 |
| Ток потребления по цепи 3,3 В, типовой, мА                      | поиск<br>55 (GPS),<br>75 (ГЛОНАСС+GPS)<br>слежение<br>35 (GPS),<br>55 (ГЛОНАСС+GPS) | 140...235                 |
| Ток потребления по цепи внешней резервной батареи, типовой, мкА | 50  | 10                        |
| Ток по цепи питания активной антенны, мА                        | 100   | 50                        |
| Защита по цепи питания активной антенны                         | Самовосстанавливающийся предохранитель  | –                         |
| Размеры (длина × ширина × высота), мм                           | 15×13×2,8   | 29,25×29,25×3,1           |
| Масса, не более, г  | 2   | 6                         |
| Диапазон рабочих температур, °С                                 | –40...+85   | –40...+65                 |

Таблица 2. Технические характеристики навигационных приемников

|  |                            |   |
|--|----------------------------|---|
| Наименование параметра                                   | NV08C-CSM                  | ГеоС-3М                                     |
| Производитель  | ЗАО «КБ НАВИС»,<br>Москва  | ООО КБ<br>«ГеоСтар<br>навигация»,<br>Москва |
| Количество каналов сопровождения                         | 32                         | 32  |
| Частотный диапазон GPS, МГц                              | 1575,42 ±0,5               | 1575,42 ±0,5                                |
| Частотный диапазон ГЛОНАСС, МГц                          | 1597,5...1609,5            | 1597,5...1609,5                             |
| Погрешность определения координат, не более, м           | 2,5 в плане<br>3 по высоте | 2,5 в плане<br>3,5 по высоте                |
| Погрешность определения плановой скорости, не более, м/с | ±0,05                      | ±0,03                                       |

Окончание табл. 2

| Наименование параметра   | NV08C-CSM  | ГеоС-3М   |
|--|--|---|
| Погрешность синхронизации секундной сетки времени к шкалам времени GPS, ГЛОНАСС, UTC, TC(SU), не более, нс | ±25  | ±30   |
| Время первого определения навигационных параметров, не более, с  | 25 холодный старт<br>25 теплый старт<br>3 горячий старт            | 28 холодный старт<br>25 теплый старт<br>2 горячий старт<br>1 повторный захват |
| Чувствительность по обнаружению, не хуже, дБм  | -143 холодный старт  | -143 холодный старт   |
| Чувствительность по слежению, дБм  | -160   | -160  |
| Система подавления помех   | МШУ: встроенный (с программным переключением для экономии энергии) | -   |
| Интерфейс обмена   | 2 × RS232<br>(1,8...3,3 В CMOS),<br>SPI, TWI<br>(I2C совместимый)  | 2 × RS232<br>(3,3 В LVCMOS)   |
| Максимальная скорость, м/с   | 500  | 515   |
| Темп выдачи выходных данных, Гц  | 1, 2, 5, 10  | 1, 2, 5, 10   |
| Основное напряжение питания, В   | 3,0...5,5  | 1,7...3,6   |
| Резервное напряжение питания, В  | 2,2...5,5  | 1,6...3,6   |
| Ток потребления по цепи 3,3 В, типовой, мА   | 6...60   | 5,5...59  |
| Ток потребления по цепи внешней резервной батареи, типовой, мкА  | 4 (в спящем режиме)  | 8   |
| Ток по цепи питания активной антенны, мА   | 57   | 50  |
| Размеры (длина × ширина × высота), мм  | 20×26×3  | 14,3×13,7×2,6   |
| Масса, не более, г   | 3  | 1,5   |
| Диапазон рабочих температур, °С  | -40...+85  | -40...+85   |

Среди зарубежных производителей также можно выделить ряд крупнейших компаний, которые занимаются производством навигационных приемников.

Компания u-blox, созданная в Швейцарии в 1997 г., в настоящее время занимается выпуском ГЛОНАСС/GPS OEM-продукции. Компа-

ния представляет широкий спектр продукции для следующих приложений:

- системы навигации для отслеживания маршрута передвижения;
- отслеживание объекта внутри заданной зоны;
- системы безопасности, например eCall/ЭРА-ГЛОНАСС;
- системы синхронизации в удаленном телекоммуникационном оборудовании;
- системы навигации на морском и речном транспорте.

Для каждой из систем необходим надежный GPS/ГЛОНАСС модуль минимальных размеров, с малым энергопотреблением и высокой скоростью работы. Этим параметрам соответствуют модули GPS/ГЛОНАСС производства u-blox [5]. Для их компания разработала специальные наборы микросхем (чип сетов) и программное обеспечение. В настоящее время на российском рынке уже доступны ГЛОНАСС/GPS-модули, построенные на чип сетах u-blox 8, которые включают в себя все последние достижения в области обработки спутниковых навигационных сигналов и вычисления координат. Все без исключения ГЛОНАСС/GPS-модули u-blox поддерживают технологию AssistNow (старт с использованием вспомогательных данных с бесплатного сервера компании), что позволяет GPS/ГЛОНАСС приемникам u-blox иметь преимущества перед конкурентами, например – быстрее стартовать при наличии очень слабого сигнала во время первого включения (холодного старта). На рис. 2 представлены два модуля данной компании, а их технические характеристики приведены в табл. 3.



Рис. 2. Модули LEA-M8F и SAM-M8Q-компании u-blox

Компания Global Top Technology, основанная в 2000 году, является профессиональным поставщиком GPS- и RF-решений. Global Top стремится оказать наилучшую поддержку компаниям, интегрирующим GPS- и RF-технологии с удобством и комфортом для потребителя.

Модули GlobalTop [6] обладают преимуществом в размерах, энергопотреблении по сравнению с конкурентными решениями. В каждом модуле компании используются качественные ПАВ-фильтры и усилители, которые гарантируют высокую чувствительность.

Таблица 3. Технические характеристики модулей LEA-M8F, SAM-M8Q

| Наименование параметра   | LEA-M8F   | SAM-M8Q   |
|--|---|---|
| Антенна  | Внешняя   | Встроенная с МШУ  |
| Количество каналов сопровождения   | 72  | 72  |
| Частотный диапазон GPS, МГц  | 1575,42   | 1575,42   |
| Частотный диапазон ГЛОНАСС, МГц  | 1602 МГц +<br>$k*562,5$ кГц<br>( $k = -7, -6...5, 6$ )  | 1602 МГц +<br>$k*562,5$ кГц<br>( $k = -7, -6...5, 6$ )  |
| Погрешность определения координат, не более, м   | 2,5 в плане<br>2 по высоте                              | 2,5 в плане<br>2 по высоте                              |
| Погрешность определения плановой скорости, не более, м/с   | ±0,05   | ±0,05   |
| Погрешность синхронизации секундной сетки времени к шкалам времени GPS, ГЛОНАСС, UTC, TC(SU), не более, нс | ±20   | ±30   |
| Время первого определения навигационных параметров, не более, с  | 26 холодный старт<br>26 теплый старт<br>1 горячий старт | 26 холодный старт<br>26 теплый старт<br>1 горячий старт |
| Чувствительность по обнаружению, не хуже, дБм  | -148  | -148  |
| Чувствительность по слежению, дБм  | -165  | -167  |
| Интерфейс обмена   | UART 3,3 В,<br>USB, I2C                                 | UART 3,3 В,<br>USB, SPI                                 |
| Максимальная скорость, м/с   | 500   | 500   |
| Темп выдачи выходных данных, Гц  | 0,5...2   | 10  |
| Основное напряжение питания, В   | 2,7...3,6   | 2,7...3,6   |
| Резервное напряжение питания, В  | –   | 1,4...3,6   |
| Ток потребления по цепи 3,3 В, типовой, мА   | 26  | 30  |
| Ток потребления по цепи внешней резервной батареи, типовой, мкА  | –   | 15  |
| Ток по цепи питания активной антенны, мА   | 50  | –   |
| Размеры (длина × ширина × высота), мм  | 17×22,4×2,4   | 9,6×14×1,5  |
| Масса, не более, г   | 2   | 1,5   |
| Диапазон рабочих температур, °С  | -40...+85   | -40...+85   |

Модуль поддерживающие ГЛОНАСС/GPS-навигационные системы данной компании представлены на рис. 3, а характеристики – в табл. 4.



Рис. 3. Модули Gmm-g1315 и Gms-g6a

Таблица 4. Технические характеристики модулей Gmm-g1315, Gms-g6a

| Наименование параметра   | Gmm-g1315   | Gms-g6a   |
|--|---|---|
| Антенна  | Внешняя   | Встроенная с МШУ  |
| Количество каналов сопровождения   | 33  | 33  |
| Частотный диапазон GPS, МГц  | 1575,42   | 1575,42   |
| Частотный диапазон ГЛОНАСС, МГц  | 1598,0625...<br>1605,375                                | 1598,0625...<br>1605,375                                |
| Погрешность определения координат, не более, м   | 3 в плане<br>2,5 по высоте                              | 3 в плане<br>2,5 по высоте                              |
| Погрешность определения плановой скорости, не более, м/с   | ±0,05   | ±0,05   |
| Погрешность синхронизации секундной сетки времени к шкалам времени GPS, ГЛОНАСС, UTC, TC(SU), не более, нс | ±10   | ±10   |
| Время первого определения навигационных параметров, не более, с  | 35 холодный старт<br>33 теплый старт<br>1 горячий старт | 35 холодный старт<br>33 теплый старт<br>1 горячий старт |
| Чувствительность по обнаружению, не хуже, дБм  | -148  | -148  |
| Чувствительность по слежению, дБм  | -165  | -165  |
| Интерфейс обмена   | 2×UART 3,3 В  | UART 3,3 В  |
| Максимальная скорость, м/с   | 515   | 515   |
| Темп выдачи выходных данных, Гц  | 1...10  | 1...10  |
| Основное напряжение питания, В   | 3...4,3   | 3...4,3   |
| Резервное напряжение питания, В  | 2,0...4,3   | 2,0...4,3   |
| Ток потребления по цепи 3,3 В, типовой, мА   | 35  | 35  |
| Ток потребления по цепи внешней резервной батареи, типовой, мкА  | 12,7  | 7   |
| Ток по цепи питания активной антенны, мА   | 30  | -   |
| Размеры (длина × ширина × высота), мм  | 13×15×2,1   | 16×16×2,1   |
| Масса, не более, г   | 1   | 1   |
| Диапазон рабочих температур, °С  | -40...+85   | -40...+85   |

Компания SIM Wireless Solutions (SIMCom) входит в состав холдинга SIM Technology Group Ltd. В 2003 году компания развернула деятельность по производству электронных компонентов для беспроводной связи. Менее чем за 5 лет бренд приобрел себе известность во всем мире, а компания статус одного из ведущих инновационных и быстроразвивающихся производителей высококачественных GSM/GPRS/GPS модулей, а также мобильных телефонов, карманных компьютеров и беспроводных модемов на их основе.

Агрессивная ценовая политика компании делает их предложения лучшими на рынке. Модули нашли широкое применение в охранных, платежных, мониторинговых и интерактивных системах.

Согласно исследованию ABI Research за 2009 г., SIMComWireless-Solutions занял второе место по продаже GSM модулей среди производителей беспроводных модулей.

Компания занимается производством широкой линейки модулей поддерживающих ГЛОНАСС/GPS навигационные системы, два из которых представлена на рис. 4, характеристики приведены в табл. 5.



Рис. 4. Модуль SIM68 и SIM33ELA

Таблица 5. Технические характеристики модулей SIM68, SIM33ELA

| Наименование параметра   | SIM68                        | SIM33ELA                     |
|--|------------------------------|------------------------------|
| Антенна  | Внешняя                      | Встроенная с МШУ             |
| Количество каналов сопровождения   | 32                           | 33                           |
| Частотный диапазон GPS, МГц  | 1575,42                      | 1575,42                      |
| Частотный диапазон ГЛОНАСС, МГц  | 1598,0625...1605,375         | 1598,0625...1605,375         |
| Погрешность определения координат, не более, м   | 2,5 в плане<br>2,5 по высоте | 2,5 в плане<br>2,5 по высоте |
| Погрешность определения плановой скорости, не более, м/с   | ±0,01                        | ±0,05                        |
| Погрешность синхронизации секундной сетки времени к шкалам времени GPS, ГЛОНАСС, UTC, TC(SU), не более, нс | ±10                          | ±10                          |



| Наименование параметра  | SIM68   | SIM33ELA  |
|---|---|---|
| Время первого определения навигационных параметров, не более, с | 35 холодный старт<br>34 теплый старт<br>1 горячий старт | 28 холодный старт<br>26 теплый старт<br>1 горячий старт |
| Чувствительность по обнаружению, не хуже, дБм                   | -148  | -147  |
| Чувствительность по слежению, дБм                               | -160  | -160  |
| Интерфейс обмена  | 2×UART, SPI, USB,<br>2×CAN, I2C, 2×ADC                  | 2×UART  |
| Максимальная скорость, м/с                                      | 515   | 515   |
| Темп выдачи выходных данных, Гц                                 | 1...10  | 1...10  |
| Основное напряжение питания, В                                  | 3...3,6   | 2,8...4,3   |
| Ток потребления по цепи 3,3 В, типовой, мА                      | 100   | 25  |
| Размеры (длина × ширина × высота), мм                           | 15×13×2,1   | 9,6×14×2,15   |
| Масса, не более, г  | 1   | 0,5   |
| Диапазон рабочих температур, °С                                 | -40...+85   | -40...+85   |

В приведенном обзоре приведены приемники космических радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS как отечественного производства, так и зарубежного. Несомненно, на зарубежном рынке присутствует большое количество компаний, которые занимаются разработкой и выпуском навигационных модулей, имеют большую номенклатуру своих изделий. В данном обзоре приведена лишь часть таких компаний, которые являются одними из крупнейших поставщиков своей продукции в мире. К мировым производителям навигационных модулей можно так же можно отнести компании: Leadtek, Tyco, eRide, Trimble, SanJoseNavigation.

На отечественном рынке на сегодняшний день производителей данной продукции не так много, как на зарубежном, а номенклатура изделий ограничена всего несколькими видами. Следует отметить, что с каждым годом появляется все больше навигационных модулей, которые по своим техническим характеристикам не уступают зарубежным аналогам. К таким можно отнести навигационный модуль ML8088s ООО «НАВИА», г. Санкт-Петербург, и модуль GeoC-3M ООО КБ «ГеоСтар навигация», г. Москва. Данные модули имеют небольшие габаритные размеры, низкий уровень энергопотребления,

высокую точность определения координат, доступны на Российском рынке в открытой продаже и являются наиболее подходящими для применения в устройствах и системах радиосвязи.

### Список литературы

1. Приемник навигационный МНП-М7. Руководство по эксплуатации ЦВИЯ.468157.113-01 РЭ [Электронный ресурс]. – Ижевск : Ижевский радио-завод, 2015. – URL: <http://www.irz.ru/uploads/files/262.pdf> (дата обращения: 22.10.2015).

2. Аппаратура навигационная потребителей глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo ML8088SE. Руководство по эксплуатации. Редакция 3.3 [Электронный ресурс]. – СПб. : Навиа, 2014. – 29 с. – URL: [http://naviaglonass.ru/wp-content/uploads/apparatura\\_navigatsionnaya\\_ml8088se\\_re\\_v3\\_3.pdf](http://naviaglonass.ru/wp-content/uploads/apparatura_navigatsionnaya_ml8088se_re_v3_3.pdf) (дата обращения: 22.10.2015).

3. Модули ГеоС-3, ГеоС-3М. Руководство по эксплуатации. Версия 1.5. [Электронный ресурс]. – М. : ГеоСтар навигация, 2014. – 61 с. – URL: [http://www.geostar-navi.com/file/geos3/user\\_manual\\_geos-3\\_3m\\_rev1\\_5\\_rus.pdf](http://www.geostar-navi.com/file/geos3/user_manual_geos-3_3m_rev1_5_rus.pdf) (дата обращения: 22.10.2015).

4. NV08C-CSM [Электронный ресурс] // NVS. Национальные технологии [Сайт]. – URL: <http://nvs-gnss.ru/products/oem-modul/item/2-nv08c-csm.html> (дата обращения: 22.10.2015).

5. LEA-M8F: u-blox M8 time & frequency reference GNSS module [Электронный ресурс] // u-blox [Сайт]. – URL: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/LEA-M8F\\_ProductSummary\\_%28UBX-13003447%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/LEA-M8F_ProductSummary_%28UBX-13003447%29.pdf) (дата обращения: 22.10.2015).

6. GlobalTop Technology, Inc. [Сайт] – URL: [www.gtop-tech.com](http://www.gtop-tech.com) (дата обращения: 22.10.2015).

7. Яценков, В. С. Основы спутниковой навигации: системы GPS Navstar и ГЛОНАСС. – М. : Горячая линия-Телеком. – 2005. – 272 с.

8. Кудряцев, И. А. Приемники сигналов навигационных систем: учебное пособие. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та имени С. П. Королева, 2011. – 29 с.

## Selection of navigation receivers for radio devices and systems

**Abstract.** *The article describes navigation receivers used in radio communication systems and devices of both home-made and foreign producers, also presenting their comparative characteristics.*

**Keywords:** navigation receiver, navigation satellite system GLONASS, GPS.

А. А. Юрков, студент  
E-mail: uralexup@gmail.com  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Разработка блоков системы питания и управления плазменным двигателем

*Данная статья рассматривает работу блоков системы питания и управления (СПУ) плазменным двигателем. Актуальность данного проекта заключается в том, что ранее управление осуществлялось вручную, а разрабатываемая система позволяет осуществлять эти операции автоматически.*

**Ключевые слова:** система питания и управления, плазменный двигатель.

Для обеспечения работы плазменного двигателя необходимо: подать питание на составляющие двигателя, обеспечить подачу ксенона и запустить его подачей импульса на поджигной электрод. Именно эти функции выполняет СПУ-140, работа осуществляется в автоматическом режиме.

Структурная схема системы управления СПУ-140 представлена на рис. 1.

СПУ-140 предназначена для преобразования энергии питания от бортового источника в напряжения и токи, требуемые для питания элементов двигательных блоков, блоков хранения и подачи ксенона и формирования управляющих воздействий в элементы двигательных блоков и блоков хранения и подачи рабочего тела (ксенона) с контролем их исполнения.

ИП-АН – источник питания анода состоит из шести одинаковых модулей, включенных последовательно. Каждый модуль управляется независимо от других. Таким способом осуществляется нагруженное резервирование. При выходе из строя одного из модулей он отключается, его выходы замыкаются, и работа ИП-АН осуществляется оставшимися пятью модулями.

На выходе ИП-АН установлен анодный LC-фильтр (АФ), обеспечивающий большой импульс разрядного тока при запуске двигателя при возникновении аномального режима повышенной проводимости плазмы. В АФ также осуществляется измерение разрядного напряжения и разрядного тока анода.

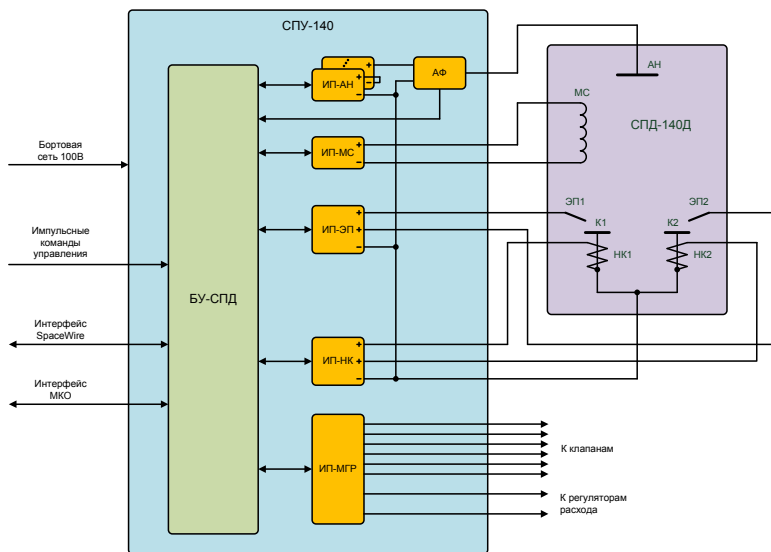


Рис. 1. Структурная схема СПУ-140

ИП-МС – источник питания магнитной системы представляет из себя импульсный стабилизатор тока с гальванически развязанным выходом. Значение выходного тока может быть выбрано произвольно в диапазоне, указанном в техническом задании.

ИП-НК – источник питания нагревателя катода представляет собой импульсный стабилизатор тока с фиксированным значением тока.

ФИ-ЭП – формирователь импульсов поджигного электрода формирует импульсное напряжение положительной полярности относительно соответствующего катода двигателя для поджигного электрода.

ИП-МГР – блок управления модулем газораспределения формирует выходные напряжения для открывания клапанов МГР и два стабилизированных тока с гальванически развязанным выходом для РР.

БУ-СПД – Блок управления СПД, осуществляет:

- 1) управление работой всех модулей СПУ-140;
- 2) контроль выходных напряжений и токов СПУ-140;
- 3) управление защитой выходов от перегрузок и коротких замыканий;
- 4) прием команд управления от БКУ или КПА, формирование и передачу в БКУ или КПА телеметрической информации, в том числе по последовательным интерфейсам МКО и SpaceWire (реализован на гальванически развязанном интерфейсе LVDS).

СПУ решает следующие задачи:

- 1) прием команд управления работой СПУ от бортового вычислительного комплекса (БВК);
  - 2) регулирование расхода ксенона в анодных трактах двигательных блоков за счет управления регулятором расхода;
  - 3) распределение расхода ксенона в катодные тракты и анодные тракты двигательных блоков за счет управления клапанами;
  - 4) обеспечение защиты входных шин питания СПУ от перегрузок по току и короткого замыкания в цепях потребителей электроэнергии;
  - 5) управление блоками подачи и хранения ксенона;
  - 6) формирование и передача телеметрической информации о работе двигательных блоков, блоков подачи и хранения ксенона и СПУ в БВК и бортовую информационно-телеметрическую систему (БИТС).
- Рассмотрим работу двух блоков: ИП-НК (рис. 2) и ФИ-ЭП (рис. 3).

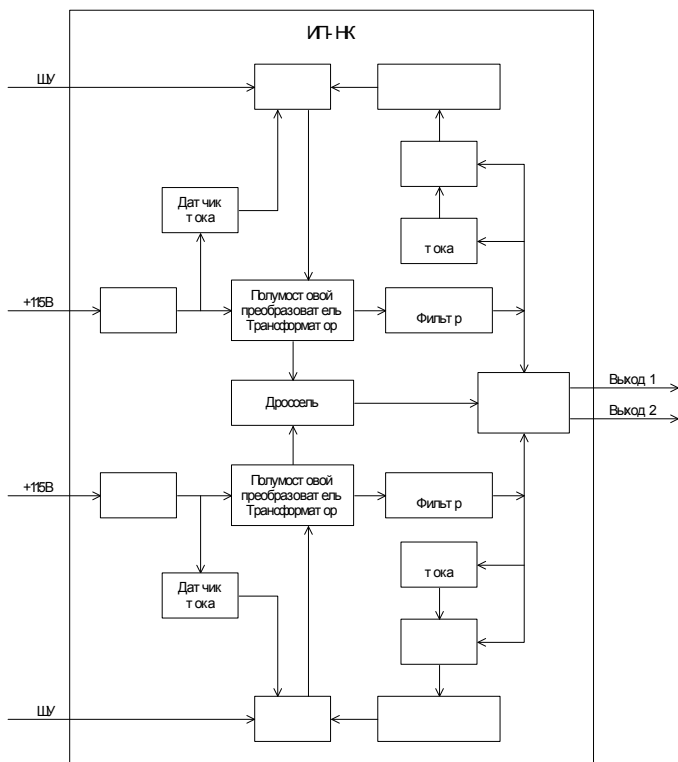


Рис. 2. Источник питания нагревателя катода ИП-НК

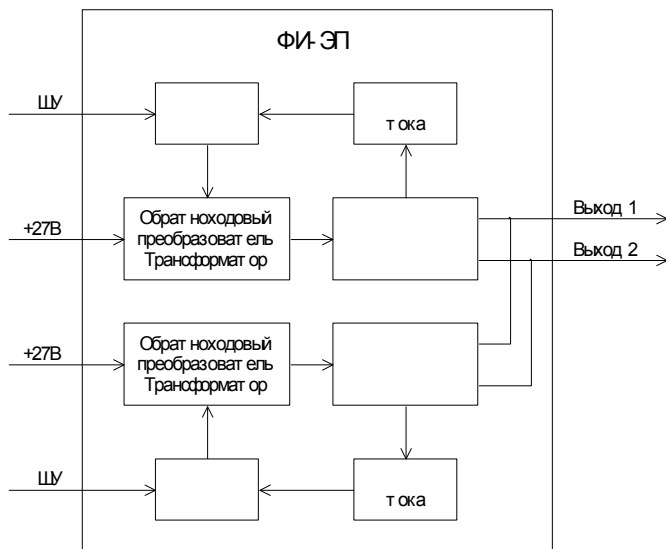


Рис. 3. Структурная схема ФИ-ЭП

ИП-НК формирует постоянный ток для нагревателя катода двигателя с параметрами в соответствии с техническим заданием. Основным элементом – это базовый матричный кристалл (БМК), представляет из себя ПЛИС на наращиваемых перемычках. Этот кристалл регулирует подачу питания на нагреватели катодов через полумостовой преобразователь.

ФИ-ЭП формирует импульсы поджигающего электрода, БМК принимает данные по шине управления и формирует импульсы, активирующие работу плазменного двигателя.

Данная разработка позволяет перейти к автоматическому управлению плазменным двигателем.

### Список литературы

1. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк. – 12-е изд. – Т. 1. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 832 с.
2. Лаврентьев, Б. Ф. Схемотехника электронных средств : учеб. пособие. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с.
3. Павлов, В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М. : Академия, 2008. – 208 с.

## **Development of blocks for system of power supply and plasma engine control**

**Abstract.** *This article considers the work of units of system of supply and control unit (SSC) plasma engine. The relevance of this project lies in the fact that the previous management was carried out manually, however the system allows these operations automatically now.*

**Keywords:** system of supply and control, plasma engine.

## Секция 5. Физические методы в приборостроении

УДК 681.785; 615.47

*В. А. Алексеев*, д-р техн. наук, уч. секретарь ученого совета университета

*А. С. Перминов*, ст. преподаватель

*С. И. Юран*, д-р техн. наук, проф.

E-mail: perminovac@mail.ru

Ижевский государственный технический университет

имени М. Т. Калашникова

### **Использование имитатора пульсовых кривых для тестирования и калибровки фотоплетизмографа**

*В работе рассмотрена возможность увеличения надежности работы и повышения достоверности результатов, получаемых с помощью фотоплетизмографов, за счет применения имитатора пульсовых кривых. Проанализированы возможные варианты исполнения имитаторов пульсовых кривых на уровне структурных схем. Предложен вариант имитатора пульсовых кривых, позволяющий проводить тестирование фотоплетизмографов целиком (оптический и электронный тракт).*

**Ключевые слова:** имитатор пульсовой кривой, обработка пульсовых кривых, структурная схема, фотоплетизмография.

Современные автоматизированные фотоплетизмографы кроме регистрации сигналов пульсовой кривой предусматривают автоматизированную обработку сигналов на компьютере. Обработка может включать вычисление параметров пульсовой кривой, сравнение их с эталонными значениями, характеризующими состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) здорового биообъекта с целью выявления заболеваний, устранения артефактов с помощью специальных алгоритмов, создание базы данных фотоплетизмограмм и их параметров, позволяющей отслеживать динамику изменения этих параметров во времени в процессе развития биообъекта [1, 2] и др.

С целью выявления наиболее эффективных вариантов программного обеспечения при создании алгоритмов и программ обработки пульсовых кривых на ЭВМ необходима оценка их работоспособности. Кроме этого, в процессе совершенствования узлов фотоплетизмогра-



фа, и в том числе оптоэлектронного датчика – одного из важных элементов, определяющих качество получаемых пульсовых кривых, возникает необходимость исследования параметров конструкции фотоплетизмографа.

Для решения указанных задач необходимо создание имитатора пульсовых кривых, который бы позволил тестировать как программы обработки фотоплетизмограмм, так и аппаратурную часть фотоплетизмографа.

На рис. 1 приведен участок фотоплетизмограммы, зарегистрированной у человека, в течение 10 минут находившегося в спокойном состоянии, лежа. Можно заметить, что нет абсолютно одинаковых пульсовых волн, хотя «объект» был один, не подвергался никаким внешним воздействиям, а время адаптации в спокойном состоянии было достаточным.

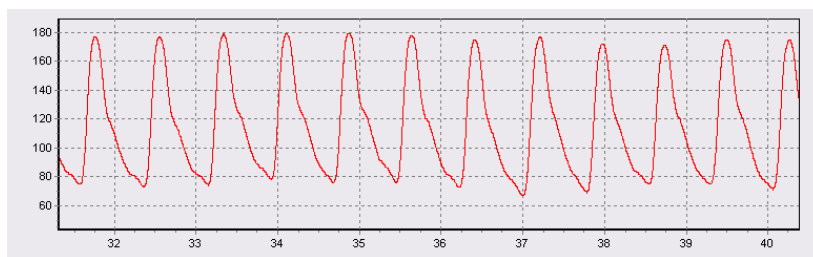


Рис. 1. Фрагмент фотоплетизмограммы

Для сравнения формы пульсовых волн было выделено несколько отдельных пульсовых волн и произведена нормировка каждой на максимум амплитуды и длительности, так как и максимальные значения амплитуды, и длительности этих волн не совпадают. На рис. 2 для наглядности представлен результат такой обработки.

Следует отметить, что отличие формы пульсовых волн имеется и у соседних пульсовых волн (в течение вдоха, выдоха и паузы между вдохом и выдохом), то есть сердце (ССС) является очень нестабильным «генератором» импульсов (и это очень мягко сказано, если посмотреть на рис. 3).

Кроме того, частота пульса может изменяться в очень широком диапазоне (от 45 до 250 ударов в минуту в зависимости от объекта), что требует изменения границ частоты среза в аппаратуре (усилителе) при регистрации фотоплетизмограмм (один из приемов борьбы с артефактами). Также при регистрации фотоплетизмограмм наблюдается значительный разброс амплитуды сигнала (см. рис. 4). Кардинальное

изменение пульсовой кривой в интервале 36...43 секунд – следствие так называемого вентилирующего вдоха, который происходит у человека подсознательно, даже во сне. В представленном случае вентилирующий вдох происходил в промежутке 33...36 секунд.

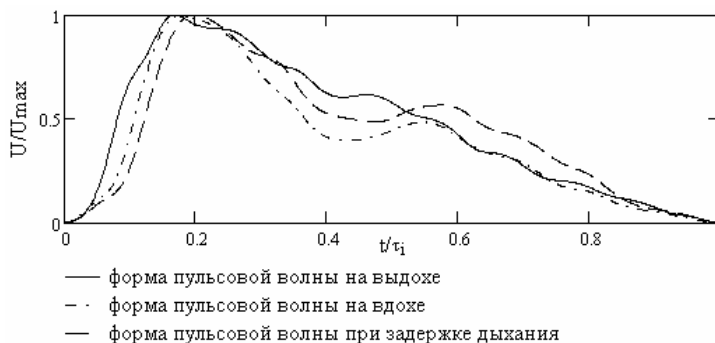


Рис. 2. Формы пульсовых волн в приведенном виде

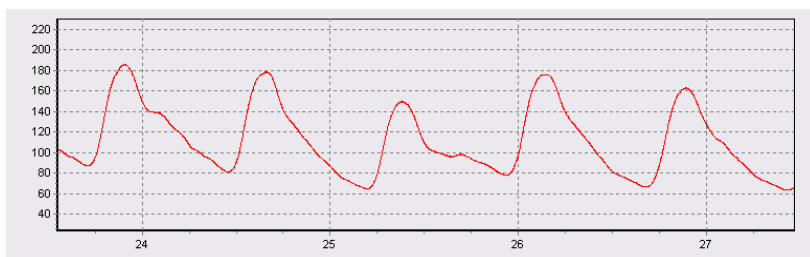


Рис. 3. Участок фотоплетизмограммы, зарегистрированной у человека в спокойном состоянии, показывающий нестабильность работы ССС

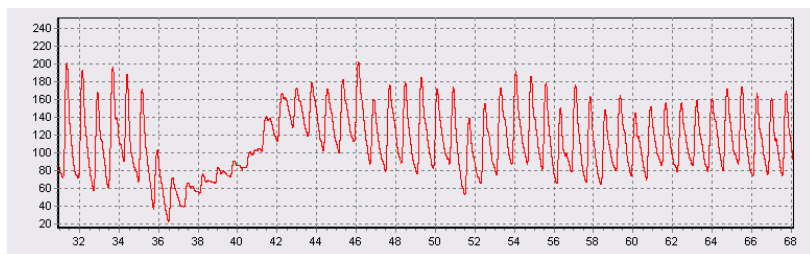


Рис. 4. Участок фотоплетизмограммы, зарегистрированной у человека в спокойном состоянии

При разработке и, что не менее важно, эксплуатации аппаратуры необходимо иметь возможность учитывать влияние:

- «геометрии» оптического тракта датчика;
- спектральных характеристик излучателя и фотоприемника датчика;
- амплитудно-частотных характеристик электронного тракта фотоплетизмографа.

Таким образом, появляется задача создания стабильного генератора для оценки работы электронных блоков фотоплетизмографа, включая оптоэлектронные датчики.

Авторы в работе [3] предложили вариант построения имитатора пульсовой кривой (рис. 5), в который были включены три основных блока для формирования последовательности стабильных импульсов:

- устройство, имитирующее кровеносный сосуд;
- устройство с изменяющейся оптической плотностью;
- устройство формирования электрических сигналов для фотоплетизмографа.

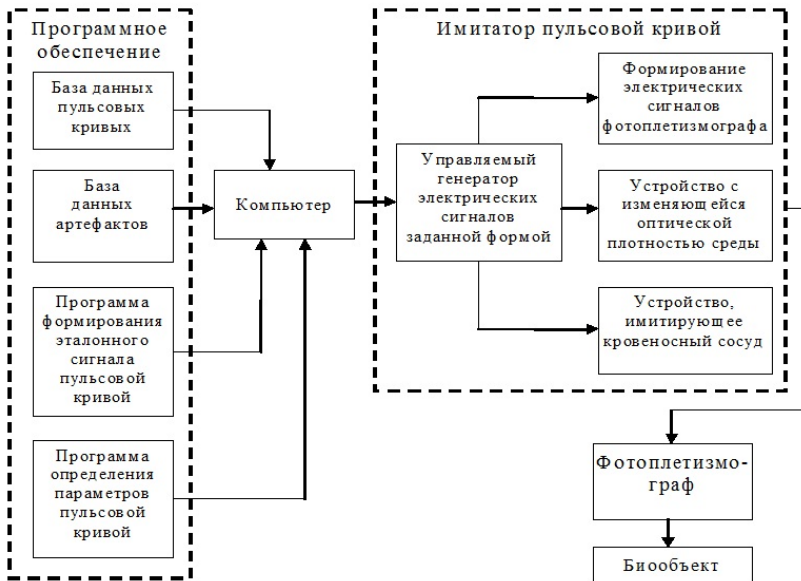


Рис. 5. Структурная схема имитатора пульсовых кривых

Для имитации кровеносного сосуда, исходя из упрощенной модели строения кожного покрова млекопитающего (модель слоистой структуры), можно предложить следующее устройство (рис. 6).

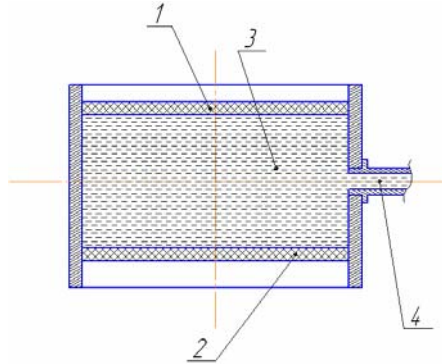


Рис. 6. Устройство, имитирующее кровеносный сосуд

Слои 1 и 2 – эластичные слои, имитирующие биологическую ткань, окружающую сосуды, чтобы давать возможность имитировать изменение «кровенаполнения» слоя 3 за счет изменения толщины слоя. Жидкость, заменяющая кровь, находится в резервуаре, давление в котором можно изменять по какому-либо заданному закону  $P(t) = f_1(t)$ .

При использовании подобного устройства возникают вопросы, связанные с тем, насколько функция изменения толщины слоя 3  $H(t) = f_2(t)$ , характеризует или совпадает с задающей функцией  $f_1(t)$ . Отличия этих функций будет связано с вязкоупругими свойствами слоев 1, 2 и «кровепровода» 4, поэтому форма сигнала, поступающего от фотоплетизмографа в компьютер для обработки  $F_3(t)$ , не позволяет определить характеристики электронных блоков фотоплетизмографа.

Устройства с изменяющейся оптической плотностью, например ячейки Поккельса, Керра и т. д., хотя и имеют высокое быстродействие, но достаточно громоздки, требуют высокого напряжения и стоят не дешево.

Устройство формирования электрических сигналов для фотоплетизмографа предполагает подключение к фотоплетизмографу непосредственно вместо датчика. Оно позволяет протестировать электронный тракт фотоплетизмографа, в то время как вопрос о работе датчика остается открытым.

Анализ возможных вариантов исполнения имитатора пульсовой кривой показал, что наиболее простой и надежный как с точки зрения аппаратного исполнения, так и с точки зрения воспроизводимости параметров является вариант, приведенный на рис. 7. Такое устройство позволят тестировать фотоплетизмограф целиком.

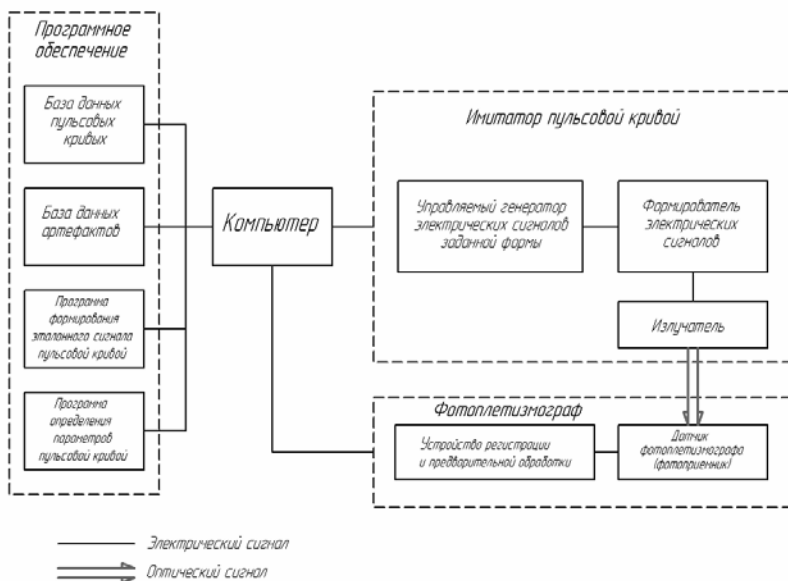


Рис. 7. Структурная схема имитатора пульсовой кривой для тестирования фотоплетизмографов

В настоящее время разработан действующий макет подобного устройства, встроенного в фотоплетизмограф, и позволяющего подавать на излучатель датчика фотоплетизмографа последовательность стабильных электрических импульсов, имитирующих работу сердца (ССС), из блока программного обеспечения имитатора пульсовых кривых.

### Список литературы

1. Алексеев, В. А. Автоматизированный фотоплетизмограф / В. А. Алексеев, С. А. Ардашев, С. И. Юран // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 1(6). – С. 46–51.
2. 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.
3. Ардашев, С. А. Имитатор пульсовой кривой для автоматизированного фотоплетизмографа / С. А. Ардашев, А. С. Перминов, С. И. Юран // Измерения в современном мире – 2013 : сб. науч. трудов 4-й Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 3–5 июня 2013 г.). – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 163–166.

## **The use of the simulator pulse curves for testing and calibration photoplethysmographer**

**Abstract.** *The paper considers the possibility of increasing the reliability of work and improve the reliability of the results obtained using photoplethysmography, through the use of the simulator pulse curves. Analyzed the possible variants of simulators of pulse curves at the level of block diagrams. A variant of the simulator pulse curves which enables testing of photoplethysmography as a whole (electronic and optic tract).*

**Keywords:** the optoelectronic sensor, processing of pulse curves, the block diagram, the photoplethysmography.

*В. А. Алексеев*, д-р техн. наук, уч. секретарь ученого совета университета

*В. П. Усольцев*, канд. техн. наук, вед. инженер-электроник

*С. И. Юран*, д-р техн. наук, проф.

*Э. М. Хуснутдинов*, магистрант

E-mail: alekseevv@istu.ru

Ижевский государственный технический университет

имени М. Т. Калашникова

## Распознавание загрязнений сточных вод

*Методика распознавания загрязнений сточных вод отрабатывалась на установке контроля искусственно созданных загрязнений протекающей водопроводной воды. Установка распознает загрязнения и отправляет загрязненную воду в отстойник. Случаи аварийных сбросов, представляющие «сгусток» неоднородной жидкости, распределенный на определенном временном интервале, при аварии изменяют величину оптической плотности сточных вод, что фиксируют косвенными измерениями.*

**Ключевые слова:** загрязнение воды, очистка вод, распознавание загрязнений, аварийные ситуации, датчик оптической плотности.

### Введение

Загрязнение биосферы, в том числе источников водоснабжения, является реальным фактором, который оказывает отрицательное влияние на здоровье людей. По данным Всемирной организации здравоохранения от использования некачественной питьевой воды каждый год в мире страдает каждый десятый человек. До 50 % речной воды каждый год подвергается техногенному воздействию, в том числе и в результате сброса  $425 \cdot 10^9 \text{ м}^3$  сточных вод. Значительная загрязненность водных объектов и малоэффективные технологии подготовки воды – это главные причины низкого качества питьевой воды. Нарушения требований СанПиН 2.1.4.10749-01, в которых установлены физико-химические и микробиологические показатели питьевой воды отмечены во всех субъектах РФ. Более 90 % сточных вод, поступающих через коммунальные сети в поверхностные водные объекты, сбрасываются загрязненными. Поэтому возникает задача достоверного оперативного анализа загрязнений водных сред с целью дальнейшего принятия решений о проведении тех или иных защитных мероприятий.

Методика распознавания загрязнений сточных вод обрабатывалась на разработанной установке контроля искусственно созданных загрязнений протекающей водопроводной воды. Установка в нужный момент распознает появление загрязнений, переключает водяной поток и отправляет загрязненную воду в отстойник. Отдельные случаи аварийных сбросов, представляющих «сгусток» неоднородной жидкости, распределенный на определенном временном интервале, при аварии изменяют величину оптической плотности сточных вод, что фиксируют косвенными измерениями [1].

### **Содержательная часть исследования**

В процессе исследований работы был разработан общий алгоритм функционирования установки. Он состоит из трех этапов: процесса инициализации, распознавания формы кривой изменения оптической плотности и процесса аварии. На первом этапе пользователь вводит необходимые для функционирования данные и выбирает один из трех режимов: начало смены, перерыв на обед и окончание смены. После получения всех этих значений алгоритм предусматривает небольшую задержку для адаптации системы, затем начинается наблюдение за оптической плотностью жидкой среды. На начальном участке оценивается уровень шумов. На втором этапе производится распознавание формы сигнала изменения оптической плотности. На этом этапе продолжается слежение за сигналами наблюдаемой величины, и параллельно идет сохранение этой информации, вычисляется прогнозируемое значение средней величины оптической плотности и ее допустимые отклонения. При превышении допустимого отклонения начинается распознавание формы кривой. Распознавание предполагает два пути решения: по соотношению с эталонами аварии в виде форм сигналов оптической плотности, или распознавание с использованием относительного описания. Второе решение необходимо при рассмотрении более сложных форм кривых. Третий этап – это непосредственная работа над выявленным типом кривой. На управляющее устройство поступает сообщение об открытии клапана отвода, и начинается слежение за аварийным «сгустком». В дальнейшем после достижения нормы оптической плотности поступает сообщение о закрытии клапана отвода, и система вновь начинает функционировать в рабочем режиме. Возвращение происходит на предаварийный период.

Рассмотрены три типичные аварийные ситуации. Первая – уровень загрязненности резко повысился и поддерживается в течение длительного времени (залповый сброс загрязнения). Ограничения налагаются только на длительность и площадь сброса. Вторая – уровень загрязненности колеблется, то возрастая, то убывая (залповый сброс, рас-



пределенный на мелкие «сгустки»). Ограничения налагаются аналогично на суммарную длительность и суммарную площадь сброса, а также добавляется ограничение на длительность каждого мелкого скачка. Третья – уровень загрязненности периодически меняется с высокого на нормальный, с нормального – на высокий (множество аварий). Ограничения налагаются на суммарную длительность и суммарную площадь сброса, а также на длительность и площадь каждого отдельного отклонения [2].

На рис. 1 изображен общий алгоритм функционирования системы. Он состоит из трех частей: процесса инициализации, распознавания формы кривой и процесса аварии. Первый этап – это этап подготовки программы к работе. Второй этап – это распознавание формы сигнала оптической плотности. Он предполагает два пути решения: распознавание кривой по соотношению с эталонами аварии в виде форм сигналов оптической плотности, и распознавание с использованием относительного описания. Второе решение понадобится в дальнейшей работе над проектом при рассмотрении более сложных форм кривых. Третий этап – это непосредственная работа уже над выявленным типом кривой [3].

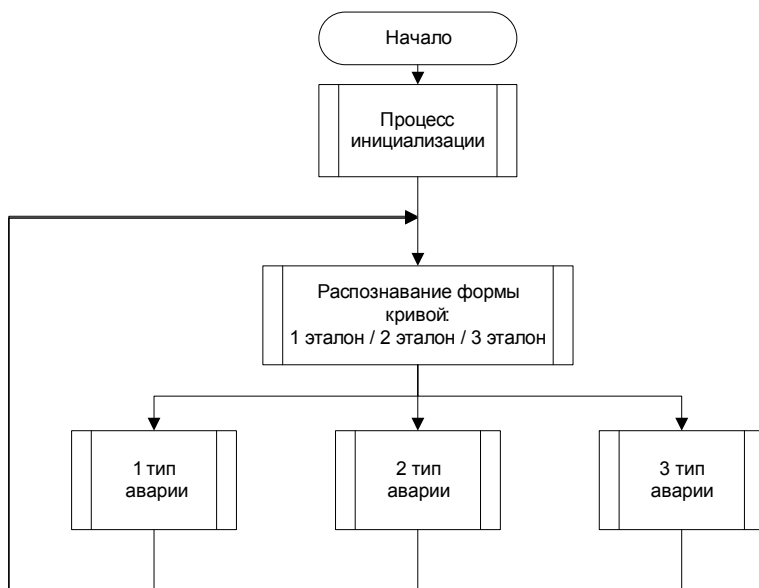


Рис. 1. Общий алгоритм функционирования

На первом этапе вводятся необходимые для функционирования данные и выбирается один из трех режимов: начало смены, перерыв на обед и окончание смены. После получения всех этих значений предусмотрена небольшая задержка для адаптации системы, затем начинается слежение за уровнем сигналов наблюдаемой величины. На втором этапе продолжается слежение за сигналом наблюдаемой величины, и параллельно идет сохранение этой информации. На третьем этапе происходит наблюдение за прохождением загрязнителя. На управляющее устройство поступает сообщение об открытии клапана отвода, и начинается слежение за аварийным «сгустком». Слежение за сигналами наблюдаемой величины по-прежнему продолжается, а сохранение этой информации приостановлено, так как в алгоритме предусмотрена история только безаварийных ситуаций. В дальнейшем после достижения нормального уровня поступает сообщение о закрытии клапана отвода, и система вновь начинает функционировать в рабочем режиме. Возвращение происходит на предаварийный период.

В работе по распознаванию аварии были выделены три типичные аварийные ситуации. Первая  $\alpha$  – уровень загрязненности резко повысился и поддерживается в течение длительного времени (залповый сброс вещества). Вторая  $\beta$  – уровень загрязненности колеблется, то возрастая, то убывая (залповый сброс, распределенный на мелкие сгустки). Третья  $\gamma$  – уровень загрязненности периодически меняется с высокого на нормальный, с нормального – на высокий (множество аварий).

Формализованный вид аварийных ситуаций  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  представлен в системах неравенств:

$$\begin{cases} \alpha_1 : & P_0 + \Delta P \leq P_t, \\ \alpha_2 : & S_{\min 1} \leq S_t \leq S_{\max 1}, \\ \alpha_3 : & T_{\min 1} \leq T_t \leq T_{\max 1}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \beta_1 : & P_0 + \Delta P \leq P_t, \\ \beta_2 : & S_{\min 2} \leq \sum_{l=1}^k S_l + S_t \leq S_{\max 2}, \\ \beta_3 : & T_{\text{усл}2} \leq T_l, \quad l \in [1, k], \\ \beta_4 : & T_{\min 2} \leq \sum_{l=1}^k T_l + T_t \leq T_{\max 2}, \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_1 : \quad P_0 + \Delta P \leq P_i, \\ \gamma_2 : \quad S_{k \min} \leq S_k \leq S_{k \max}, \\ \gamma_3 : \quad S_{\min 3} \leq \sum_{l=1}^k S_l + S_t \leq S_{\max 3}, \\ \gamma_4 : \quad T_{\text{усл}3} \leq T_l, \quad l \in [1, k], \\ \gamma_5 : \quad T_{\min 3} \leq \sum_{l=1}^k T_l + T_t \leq T_{\max 3}, \end{array} \right.$$

где  $P_0$  – положение равновесия естественных колебаний оптической плотности;  $\Delta P$  – амплитуда естественных колебаний оптической плотности;  $\Delta T$  – интервал времени, за который грязевое пятно доходит до заслонки;  $L_0$  – длина начального участка определенного периода времени (заведомо не может быть аварии);  $L$  – длина рабочего участка;  $i$  – переменная, показывающая номер измерения сигнала;  $P_i$  – текущее значение оптической плотности в момент времени, соответствующий измерению  $i$ -го отсчета;  $t_i$  – текущее значение времени в момент, соответствующий измерению  $i$ -го отсчета;  $T_{\min 1}$ ,  $T_{\min 2}$ ,  $T_{\min 3}$  – минимальная величина времени, соответствующая длительности потока загрязняющего вещества, проходящего через трубу (для 1, 2, 3 случаев);  $T_{\max 1}$ ,  $T_{\max 2}$ ,  $T_{\max 3}$  – максимальная величина времени, соответствующая длительности потока загрязняющего вещества, проходящего через трубу (для 1, 2, 3 случаев);  $T_t$  – длительность последнего (текущего) скачка оптической плотности;  $T_l$  – длительность одного прошедшего скачка (для  $l = 1, k$ , где  $k$  – число прошедших скачков);  $T_{\text{усл}2}$ ,  $T_{\text{усл}3}$  – минимальное значение длительности одного скачка для 2, 3 случаев соответственно.

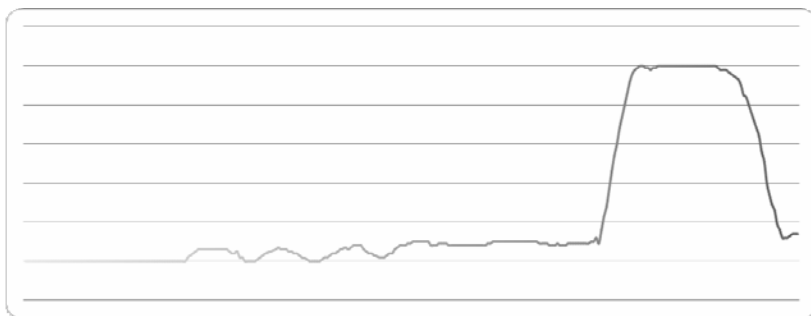
Задается один из режимов работы: начало смены, перерыв на обед и окончание смены. Далее вводятся соответствующие данные:  $L$  – длина рабочего участка;  $L_0$  – начальный безаварийный интервал;  $S_{\min}$  – минимальная величина площади аварийного сгустка;  $T_{\min}$  – минимальное время аварийного сгустка.

На рис. 2 приведен первый пример аварийной ситуации. Данный тип аварии относится к 1-му типу – залповый сброс вещества.

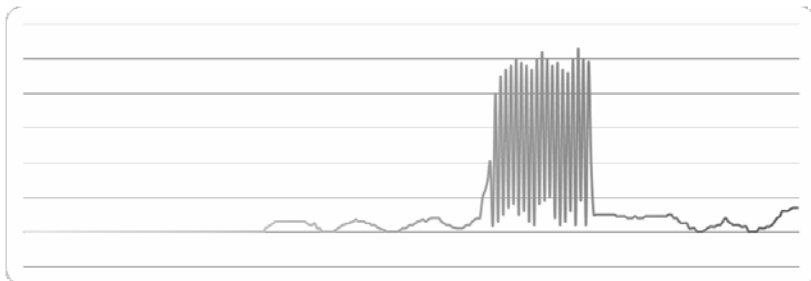
В результате выводится вся информация об аварийном сгустке: продолжительность, площадь, время начала и завершения, а также время открытия и закрытия заслонки в канале ответвления.

На рис. 3 приведен второй пример аварийной ситуации. Данный тип аварии относится ко 2-му типу – залповый сброс, распределенный на мелкие сгустки.

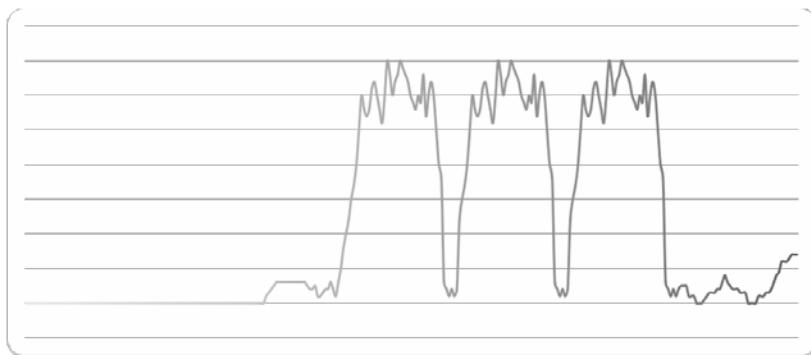
На рис. 4 приведен третий пример аварийной ситуации. Данный тип аварии относится к 3-му типу – множество аварий.



*Рис. 2.* График аварийной ситуации 1-го типа



*Рис. 3.* График аварийной ситуации 2-го типа



*Рис. 4.* График аварийной ситуации 3-го типа

## Выводы

В результате проделанной работы разработаны алгоритм и методика распознавания аварийной ситуации для одного датчика оптической плотности. Программа подтвердила результаты по всем типам аварий. В дальнейшем планируется усовершенствование и доработка алгоритма и программы.

## Список литературы

1. *Алексеев, В. А.* Снижение влияния аварийных выбросов в системах фильтрации сточных вод / В. А. Алексеев, А. Хедр, Е. М. Козаченко // Интеллектуальные системы в производстве. – 2008. – № 2. – С. 137–144.
2. *Алексеев, В. А.* Разработка теоретических и методических основ управления аварийными сбросами в технологическом процессе очистки сточных вод в контексте социо-эколого-экономической системы крупного предприятия / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран / Приборостроение – 2014 : материалы 7-й Междунар. науч.-техн. конф. (19–21 ноября 2014 г., Минск, Респ. Беларусь). – Минск : Бел. нац. техн. ун-т, 2014. – С. 20–22.
3. *Дизендорф, К. И.* Об одном алгоритме управления установкой аварийного сброса в системе сточных вод промышленного предприятия / К. И. Дизендорф, Р. А. Митюкова / Приборостроение в 21-м веке – 2012. Интеграция науки, образования и производства. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 348–350.

## Recognition of wastewater contamination

**Abstract.** *The methods of identifying pollutants of wastewater were fulfilled on the installation of monitoring artificially created pollution flowing tap water. The installation recognizes pollution, and sends polluted water into the sump. Cases of accidental discharges, representing a "clot" of heterogeneous liquid that consists of a defined time interval, when the accident change the optical density of wastewater, the fixed indirect measurements.*

**Keywords:** water pollution, water purification, pollution detection, emergency, sensor optical density.

УДК 502.656

*В. А. Алексеев*, д-р техн. наук, ученый секретарь ученого совета университета

*В. П. Усольцев*, канд. техн. наук, вед. инженер-электроник

*С. И. Юран*, д-р техн. наук, проф.

*Е. А. Шкляев*, магистрант

E-mail: alekseevv@istu.ru

Ижевский государственный технический университет

имени М. Т. Калашникова

## **Идентификация загрязнений сточных вод и промышленных стоков в процессе производства**

*В статье ставится задача оперативного анализа загрязнений водных сред с целью дальнейшего принятия решений о проведении тех или иных защитных мероприятий.*

**Ключевые слова:** загрязнение сточных вод, очистка сточных вод, распознавание загрязнений, устранение аварий, оптоэлектроника, лазерные технологии.

### **Введение**

Значение воды в природе огромно. Она участвует во всех биологических, геохимических и геофизических процессах, происходящих на Земле, является движущей силой многих глобальных процессов. Огромно значение воды и в хозяйственной деятельности. Невозможно перечислить все сферы деятельности человека, в которых используется вода. В связи со стремительными темпами потребления количество воды резко сокращается, и ее качество также резко ухудшается.

Так, по сведениям статистики в России забор воды из природных источников для использования составил в 2009 г. 64,7 млрд м<sup>3</sup>. Однако не бытовое водоснабжение, а промышленность и сельское хозяйство – главные потребители воды. Так, для производства 1 т чугуна расходуется от 20 до 50 т воды, на тонну стали – 150 т, для производства тонны бумаги требуется 250 т воды, на изготовление тонны искусственно волокна используется 2–3 тыс. т воды.

Существенный вклад в загрязнение воды вносят сточные воды. Современное развитие промышленности, энергетики, коммунального хозяйства и других видов человеческой деятельности связано с необ-

ходимостью использования чистой воды и последующего сброса загрязненной воды. Сброс сточных вод в поверхностные природные водные объекты в 2009 г. составил 47,7 млрд м<sup>3</sup>, 33 % сточных вод были сброшены загрязненными, из них без очистки было сброшено 20 %, а недостаточно очищенных – 80 %. Однако никакие очистные сооружения, без которых по нашим законам ни одно предприятие не может быть включено в работу, полной очистки технической, использованной воды не гарантируют. Кроме того, даже самая совершенная система водоснабжения, связанная с естественными водоемами, не застрахована от аварий, когда в несколько секунд отходы производства, содержимое отстойников попадут в чистый водоем и убьют его [1].

### **Содержательная часть исследования**

Использование в промышленности и в сельском хозяйстве на производство добытой и специально обработанной воды, которая используется для водоснабжения городов, в настоящий момент представляется нерациональным, так как производство воды удорожается, напрасно расходуется энергия, для получения которой сжигается нефть, газ и уголь. Производство воды требует определенного ритма: нельзя увеличивать сроки хранения, нельзя фильтровать воду быстрее, чем положено. Расходуется вода на городские и производственные нужды очень неравномерно, больше всего – в первую половину дня и совсем немного – ночью. Поэтому одной из важнейших проблем на сегодняшний день является организация рационального использования вод и их охрана.

На промышленных предприятиях используют воду для различных нужд [2]:

- для хозяйственно-питьевых целей;
- для производственных целей (очищенная или неочищенная), используемая непосредственно потребителями или направляемая на выполнение системы оборотного водоснабжения;
- для технологических целей готовится из технической или питьевой воды путем использования специальных технологических приемов (умягчения, обессоливания и т. п.) в зависимости от требований, предъявляемых производством;
- для оборотных (циркуляционных) целей применяется в технологическом процессе и после очистки или охлаждения для тех же целей;
- для последовательного использования, когда вода расходуется поочередно в нескольких производственных процессах без промежуточной обработки и охлаждения с последующим выпуском в водоем или возвратом для повторного применения;

- для повторного использования, когда после расходования в технологическом процессе (или быту) и соответствующей очистки сточная вода частично или полностью повторно используется для тех или иных технологических целей либо идет на пополнение систем оборотного водоснабжения.

Для повторного использования в соответствии с направлением использования и нормативными требованиями необходимо определить состав сточных вод, для чего нужно сделать множество различных анализов, как химических, так и санитарно-бактериологических. Существующие методы анализа сточных вод, как правило, требуют применения сложной аппаратуры, что не всегда возможно в производственных условиях. В большинстве случаев применение точных методик требует значительного времени для проведения анализа, что не позволяет в режиме реального времени устранять аварийные выбросы и ритмично подавать очищенную воду для производственных нужд.

Поэтому возникает задача достоверного оперативного анализа загрязнений водных сред с целью дальнейшего принятия решений о проведении тех или иных защитных мероприятий.

Существование корреляционных связей между оптической плотностью и другими параметрами, характеризующими содержание загрязнений, особенно наглядно при достаточно постоянном качественном составе сточных вод. Для больших промышленных предприятий предлагаемый подход очень перспективен, в этом случае контроль оптической плотности, функционально связанной с видом и содержанием загрязнений, позволяет в режиме реального времени фиксировать и устранять аварийные выбросы, оперативно производить очистку сточных вод и обеспечивать заданный ритм производства. Автоматизация устранения аварийных выбросов в реальном масштабе времени с применением оптических методов контроля свойств жидких сред имеет перспективу в связи с развитием современных средств оптоэлектроники и лазерных технологий [3].

Для разработки методики тестирования неоднородных жидких оптических сред [4] с конкретизацией приемов и требований универсальности, реалистичности, воспроизводимости, соответствия целям и задачам идентификации загрязнений сточных вод и промышленных стоков, проверки обоснованности предлагаемой структурно-логической схемы и проведения экспериментов, разработан и изготовлен уникальный научный стенд, содержащий:

- гидросистему с емкостями для создания комбинированных загрязняющих смесей сточных вод заданного состава и воспроизведения динамических режимов движения;



- устройство промывки гидросистемы;
- установку для имитации загрязнений оптического тракта;
- устройство задания допустимого отклонения уровня информативного сигнала;
- устройство задания времени аварийной задержки;
- устройство задания времени сброса после аварийного включения;
- устройство задания времени между циклами автоподстройки;
- оптоэлектронную измерительную систему, содержащую перестраиваемые регулируемые источники и приемники оптического излучения, работающие в ультрафиолетовой (менее 0,4 мкм), видимой (0,4–0,72 мкм), ближней и средней инфракрасной (0,72–20 мкм), длинноволновой (более 20 мкм) областях спектра электромагнитного излучения;
- устройство сопряжения и передачи данных в цифровом виде в компьютер;
- устройство управления, разделения и утилизации потоков жидкости на выходе установки.

Результаты анализа отображаются на виртуальной панели управления стендом (рис. 1).

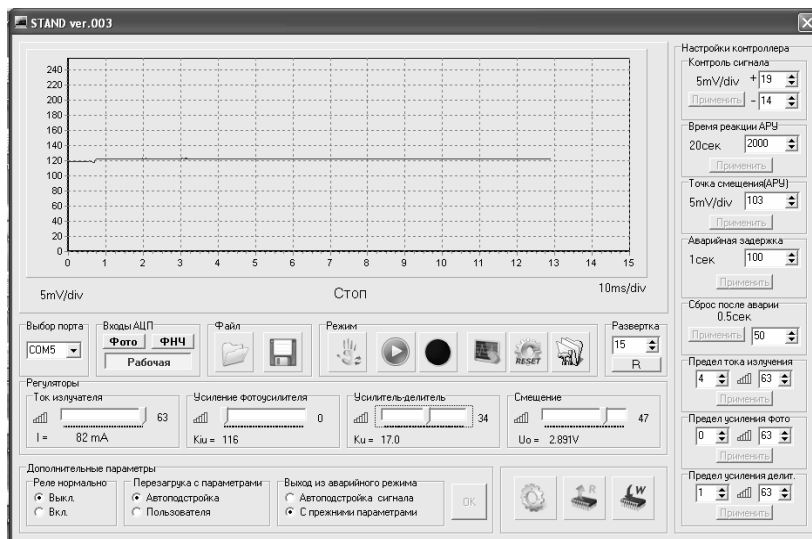


Рис. 1. Виртуальная панель управления стендом

С использованием стенда проведен анализ достоверности идентификации вида и уровня загрязнений сточных вод на примерах загрязнения водопроводной воды растворами органических масел, нефти и нефтепродуктов, разработана методика формирования базы данных кривых изменения оптической плотности жидких сред как конкретного воплощения способа взаимодействия полученных результатов тестирования и формы их представления в виде конкретной процедуры.

### **Выводы**

Обработка результатов проведенных экспериментов позволила оценить эффективность разработанной технологии, исследовать пригодность и устойчивость работоспособности экспериментального образца оптоэлектронного устройства экспресс-анализа сточных вод и промышленных стоков на наличие следов нефтепродуктов и углеводородных загрязнений для обеспечения идентификации загрязнений сточных вод и промышленных стоков в процессе рециклинга.

По контролю изменений оптической плотности жидких сред экспериментально определены нормативные требования по содержанию загрязнений в очищенных сточных водах конкретного производства для создания автоматизированных систем управления аварийными сбросами в сточных водах промышленных предприятий.

### **Список литературы**

1. *Горшков, М. В.* Экологический мониторинг : учеб. пособие / М. В. Горшков. – Владивосток : Изд-во ТГЭУ, 2010. – 313 с.
2. *Сильги, де, К.* История мусора. От средних веков до наших дней / Катрин де Сильги. – М. : Текст, 2011. – 288 с.
3. *Алексеев, В. А.* Разработка теоретических и методических основ управления аварийными сбросами в технологическом процессе очистки сточных вод в контексте социо-эколого-экономической системы крупного предприятия / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Приборостроение – 2014 : материалы 7-й Междунар. науч.-техн. конф. (19–21 ноября 2014 г., Минск, Респ. Беларусь). – Минск : Бел. нац. техн. ун-т, 2014. – С. 20–22.
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. мат. IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 ноября 2013 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 349–353.

## **Identification of pollution wastewater and industrial effluents in the production process**

**Abstract.** *The article sets the task of the operational analysis of pollution of water environments for the purpose of further decisions on carrying out those or other protective measures.*

**Keywords:** wastewater pollution, wastewater treatment, resposne of contamination, elimination of accidents, optoelectronics, laser technology.

О. Е. Каракулов, ст. преподаватель  
С. В. Бузилов, канд. физ.-мат. наук, доц.  
М. А. Шаньгин, студент

E-mail: oleg.karakulov@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Автоматизированная установка для измерения коэффициента температуропроводности сплавов

*Рассмотрена автоматизированная установка для измерения температуропроводности сплавов импульсным методом. Описана методика измерения для образцов в форме пластины и шара. Приведена схема блока предварительных усилителей.*

**Ключевые слова:** температуропроводность, импульсный метод, измерительная установка, погрешности измерений.

В последнее время в связи с быстрым развитием технологии материалов и появлением множества новых областей применения материалов при высоких температурах, таких как создание надежных аппаратов и конструкций в авиации, космической и лазерной технике, атомной энергетике, весьма актуальными становятся высокотемпературные исследования теплофизических свойств материалов. Для исследования температуропроводности сплавов большой интерес представляет дальнейшее развитие нестационарных методов, к которым относятся и импульсные методы. К достоинствам импульсных методов можно отнести оперативность, хорошие точностные характеристики, относительную простоту реализации экспериментальной установки, возможность комплексного измерения теплофизических свойств: температуропроводности, теплоемкости, теплопроводности.

Созданная нами автоматизированная установка для измерения температуропроводности сплавов позволяет проводить измерения для образцов практически любой формы. В частности, когда образец имеет форму пластины, можно использовать давно известный и хорошо проработанный метод, предложенный Паркером [1]. В данном случае на переднюю поверхность образца, как правило, изготовленного в форме пластины, падает равномерный тепловой поток, а сигнал снимается с обратной поверхности. В простейшем случае предполагается, что

отсутствуют тепловые потери, длительность импульса стремится к нулю, тепловой поток равномерный.

Температуропроводность вычисляется обычно по времени достижения половины от максимального значения температуры на обратной поверхности образца:  $a = Fo_{1/2} L^2 / t_{1/2}$ , где  $a$  – температуропроводность;  $Fo_{1/2}$  – критерий Фурье (безразмерное время), при котором безразмерная температура ( $\theta = T / T_{\max}$ ) достигает половины максимума;  $t_{1/2}$  – соответствующее время;  $L$  – толщина образца.

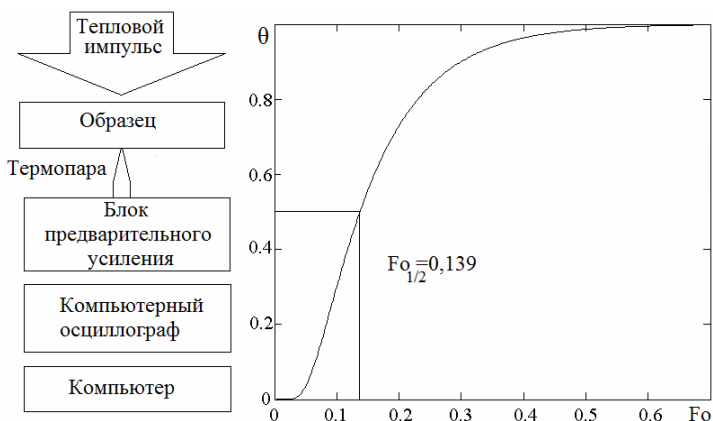


Рис. 1. Зависимость безразмерной температуры  $\theta = T / T_{\max}$  от критерия  $Fo$  для метода Паркера

В литературе предложено множество усовершенствований данного метода, связанных с учетом распределения теплового потока, теплообмена с окружающей средой, конечной длительностью теплового импульса и т. д. [2–5, 8]. В некоторых случаях [7, 8] приходится применять образцы другой формы, в частности в форме шара.

На рис. 1 представлена зависимость безразмерной температуры  $\theta = T / T_{\max}$  от критерия  $Fo$  для метода Паркера, а на рис. 2 – для образца в форме шара ( $Bi = 0$ ) при различных положениях термопары. В случае когда используется образец – шар, температуропроводность можно вычислить по формуле  $a = Fo_{1/2} R^2 / t_{1/2}$ , где  $R$  – радиус образца. Более подробно измерение температуропроводности для образцов в форме шара изложено в работах [6–8].

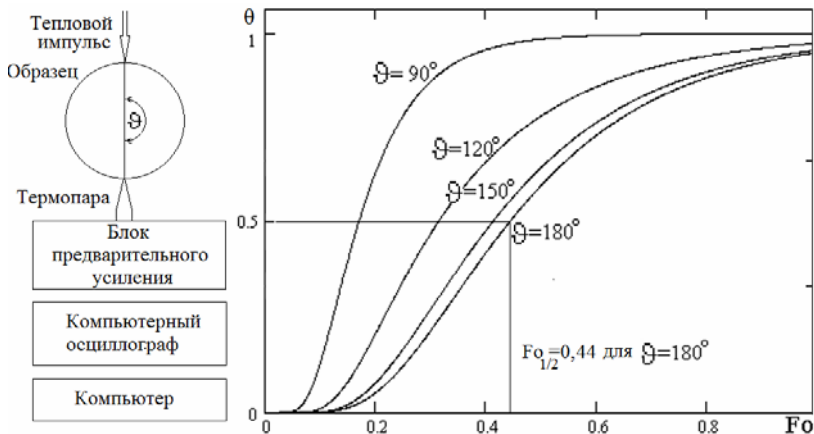


Рис. 2. Зависимость безразмерной температуры  $\theta = T / T_{\max}$  от критерия  $Fo$  для образца в форме шара ( $Bi = 0$ ) при различных положениях термопары

Для снятия сигнала с термопары, расположенной на поверхности образца, был изготовлен блок предварительного усиления. Схема первого каскада БПУ представлена на рис. 3.

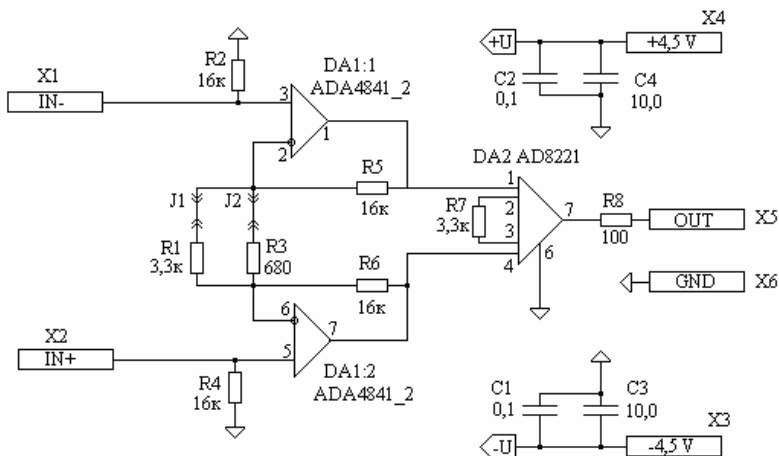


Рис. 3. Принципиальная схема первого каскада блока предварительного усиления

Сверхмалозумящие операционные усилители DA1:1 и DA1:2 совместно с дифференциальным усилителем DA2 образуют классический инструментальный усилитель с коэффициентом подавления синфазного сигнала порядка 100 дБ. Перемычки J1 и J2 позволяют ступенчато менять коэффициент передачи дифференциального сигнала термодпары. Для выделения относительно малых переменных составляющих температурных сигналов (доли градусов Цельсия) на фоне большого постоянного сигнала температуры образца используется устройство выборки-хранения на основе интегратора. На рис. 4 представлена схема выборки-хранения. Перед проведением эксперимента тумблер S1 (рис. 4) замыкается, в результате чего через интегратор замыкается цепь обратной связи и на конденсаторе устанавливается напряжение, соответствующее постоянной составляющей входного сигнала. Затем при проведении измерения тумблер размыкается и на выходах устройства появляется сигнал, соответствующий переменной составляющей температурного сигнала.

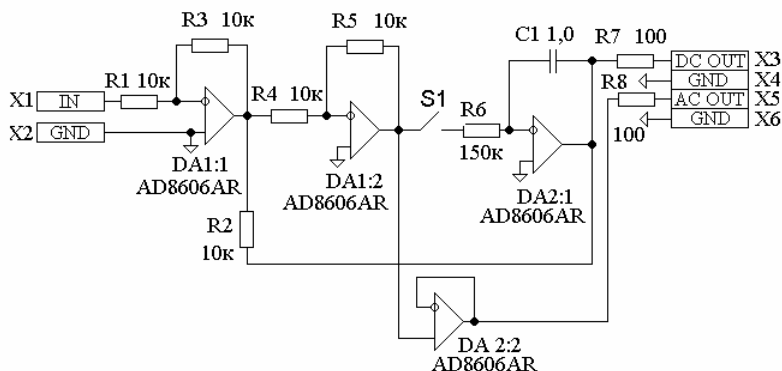


Рис. 4. Принципиальная схема устройства выделения постоянной составляющей сигнала

Сигнал с блока предварительных усилителей поступает на цифровой запоминающий осциллограф АСК-3106. Для запуска развертки осциллографа применен синхронизатор, состоящий из фотоприемника импульса излучения лазера на основе фотодиода ФД256, формирователя импульсов на микросхеме 74НС14D (триггеры Шмитта) и одновибратора на микросхеме 74НС74D.

Для разработанной системы произведена оценка погрешностей измерения температуропроводности [7, 9]. Относительная погрешность не превышает 5 %. Проведены тестовые измерения температуропроводности железа «Армко» и титановых сплавов ВТ20 и ОТЧ-1 в случае образца в форме пластины. Наблюдается совпадение экспериментальных данных с литературными в пределах заявленной погрешности. На рис. 5 представлена экспериментальная осциллограмма для шара радиусом  $R = 3,010$  мм (сталь ШХ 15).

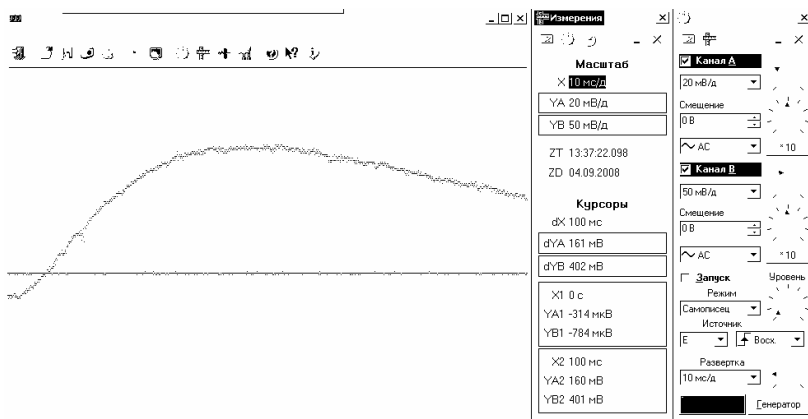


Рис. 5. Осциллограмма для шара радиусом  $R = 3,010$  мм

Таким образом, разработанная автоматизированная установка позволяет измерять температуропроводность сплавов для образцов в форме пластины и шара.

### Список литературы

1. Parker W. J., Jenkins R. J., Butler C. P. and Abbott G. L. "Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity," in J. Appl. Phys., 1961, Vol. 32, pp. 1679–1684.
2. Heckman, R. C. Finite pulse-time and heat-loss effects in pulse thermal diffusivity measurements // J. Appl. Phys., 1973, Vol. 44, No. 4, pp. 1455–1460.
3. Taylor, R. E. Finite pulse time effects in flash diffusivity method / R. E. Taylor, L. M. Clarke // High Temp. High Press., 1974, Vol. 6, pp. 65–72.
4. Clarke, L. M. Radiation loss in the flash method for thermal diffusivity / L. M. Clarke, R. E. Taylor // J. Appl. Phys., 1975, Vol. 46, No. 2, p. 714.
5. Azumi, T. Novel finite pulse-width correction in flash thermal diffusivity measurement / T. Azumi, Y. Takahashi // Rev. Sci. Instrum., 1981, Vol. 52, No. 9, pp. 1411–1413.



6. Бузилов, С. В. Импульсный метод измерения температуропроводности сферических образцов / С. В. Бузилов, Л. Д. Загребин // ИФЖ. – 1999. – Т. 72. – № 2. – С. 236–239.

7. Каракулов, О. Е. Измерение температуропроводности образцов в виде шара. Система Fe-Sn / О. Е. Каракулов, Л. Д. Загребин, И. Н. Шабанова // Теплофизика высоких температур. – 2010. – Т. 48. – № 3. – С. 368–372.

8. Загребин, Л. Д. Измерение температуропроводности и теплопроводности металлов вблизи точки плавления / Л. Д. Загребин, С. В. Бузилов // Приборы и техника эксперимента. – 2003. – № 1. – С. 153–157.

9. Каракулов, О. Е. Анализ погрешностей при измерении коэффициента температуропроводности сплавов импульсным методом / О. Е. Каракулов, С. В. Бузилов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 1. – С. 168–171.

### **Automated system for the thermal diffusivity measurement of alloys**

**Abstract.** *The automated installation for measurement of thermal diffusivity of alloys by a pulse method is considered. Measurement technique for samples in the form of a plate and a sphere is described. The scheme of the block of preliminary amplifiers is provided.*

**Keywords:** thermal diffusivity, pulse method, measuring system, errors of measurements.

## Исследование параметров малогабаритной рентгеновской трубки

*В статье рассматриваются характеристики, влияющие на разработку, экспериментальные исследования, изготовление, ремонт и наладку систем с использованием малогабаритной рентгеновской трубки. Приведен расчет отдельных параметров на примере рентгеновской трубки БХ9. Результаты расчета являются частью комплексных исследований, определяющих эффективное состояние системы рентгеновского излучения.*

**Ключевые слова:** малогабаритная рентгеновская трубка, мощность экспозиционной дозы, критерий Нуссельта, критерий Рейнольдса, энергия излучения.

Целесообразность использования той или иной трубки для конкретного исследования определяется параметрами генерируемого излучения, в частности их качественными и количественными характеристиками. При бескристалльном способе рентгеноспектрального анализа большой популярностью пользуются малогабаритные рентгеновские трубки небольшой мощности с «прострельными» анодами. За основу выбрана рентгеновская трубка БХ9, представленная на рис. 1, параметры которой приведены в табл. 1.



Рис. 1. Рентгеновская трубка БХ9

Целью данной статьи является исследование параметров малогабаритной рентгеновской трубки, которая используется в приборах рентгеноспектрального анализа.

Таблица 1. Параметры рентгеновской трубки БХ9

| Наименование параметра,<br>единица измерения                      | Норма                 |         |          | Примечание  |
|---|-----------------------|---------|----------|---|
|   | не менее              | номинал | не более |   |
| Ток накала, А   | –                     | 2,0     | –        | При напряжении<br>трубки 20 кВ,<br>токе трубки<br>600 мкА |
| Напряжение накала, В  | 1,4                   | –       | 1,8      |   |
| Номинальное напряжение<br>трубки, кВ                              | –                     | 50,0    | –        |   |
| Номинальная мощность<br>трубки, кВт                               | –                     | 0,012   | –        |   |
| Размер эффективного<br>фокусного пятна<br>(большая ось овала), мм | –                     | 2,0     | 2,3      |   |
| Поток энергии рентге-<br>новского излучения, Дж·с <sup>-1</sup>   | 2,45·10 <sup>-3</sup> | –       | –        |   |
| Сопротивление смеще-<br>ния, МОм                                  | 0,2                   | –       | 10,0     |   |
| Габаритные размеры трубки   |                       |         |          |   |
| Длина, мм   | –                     | –       | 114,0    |   |
| Диаметр баллона, мм   | –                     | –       | 28,6     |   |
| Диаметр трубки, мм  | –                     | –       | 36,0     |   |
| Размер эффективного<br>фокусного пятна, мм                        | –                     | –       | 2,0      |   |
| Температура анода рент-<br>геновской трубки, °С                   | –                     | 500     | –        | При размере<br>фокусного пятна<br>2,0 мм                  |

Задачей ставится анализ выходных параметров рентгеновской трубки с целью определения отдельных факторов, влияющих на проектирование, изготовление, наладку, эксплуатацию и ремонт приборов.

Степень радиационной опасности при работе с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения определяется мощностью экспозиционной дозы, качеством (энергией) излучения, временем и характером облучения (общее, местное).

Для возбуждения рентгеновского излучения необходимо получить свободные электроны, сообщить им достаточно высокую энергию и затормозить с помощью поставленной на их пути мишени. Тормозное излучение рентгеновских трубок описывается рядом интегральных и дифференциальных характеристик [1, 2]. К интегральным характеристикам относятся поток  $P$  (постоянное перемещение), интенсивность  $I$

и мощность экспозиционной дозы  $PD$ , а к дифференциальным – спектральное распределение потока  $Pdv$ :

$$Pv = \frac{dP}{dv} = f(v), \quad (1)$$

интенсивности:

$$Iv = \frac{dI}{dv} = \Phi(v) \quad (2)$$

и мощности экспозиционной дозы:

$$Pdv = \frac{dPd}{dv} = F(v), \quad (3)$$

где  $v$  – частота излучения.

Когда энергия бомбардирующих анод электронов становится достаточной для вырывания электронов из внутренних оболочек атома, на фоне тормозного излучения появляются резкие линии характеристического излучения. Частоты этих излучений зависят от природы вещества анода, поэтому излучение назвали характеристическим.

В результате взаимодействия с атомами мишени электроны отклоняются от первоначального направления движения и теряют свою энергию. Полные потери энергии являются суммой ионизационных и радиационных потерь. Ионизационные потери обусловлены неупругими соударениями электронов с атомами мишени, в которых энергия электронов затрачивается на возбуждение и ионизацию атомов.

Для веществ с  $Z > 12$  потери (в отношении мишени рентгеновской трубки) величина средней энергии ионизации атомов мишени может быть вычислена по эмпирической формуле [3]:

$$\frac{J}{Z} = 9,76 + 58,8Z^{-1,19}, \quad (4)$$

где  $Z$  – атомный номер.

Поскольку серийной рентгеновской является 0,012БХ9 с мишенью из вольфрама  $Z = 74$ , то средняя энергия ионизации равна:

$$J = (9,76 + 58,8 \cdot 74^{-1,19}) \cdot 74 \text{ эВ.}$$

Минимум ионизационных потерь в рентгеновской трубке с мишенью из вольфрама при достижении энергии ионизации – 748,2 эВ.

Теплоотвод необходим для системы источника рентгеновского излучения как для обеспечения работоспособности прибора, так и для снижения воздействия на человека ионизирующего излучения.

В трубке БХ9 применяется анод цилиндрической формы небольшой толщины, который соединен по боковой поверхности методом пайки.

Температуру боковой поверхности рентгеновской трубки с достаточной точностью можно считать постоянной по всей длине трубки.

Отводимая мощность пропорциональна площади охлаждаемой поверхности  $dS$  и разности температур поверхности (стенки)  $T_{\text{п}}$  и хладагента  $T_{\text{хл}}$ .

$$dP = \alpha \cdot (T_{\text{п}} - T_{\text{хл}}) \cdot dS, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий теплопроводность.

Площадь поверхности цилиндра вычисляется как:

$$S = 2\pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot 3,14 \cdot 14 \cdot 77 = 6769,84 \text{ мм.}$$

Для получения реальных параметров примем для расчета охлаждающей системы значение температуры боковой поверхности анода типа БХ-9 равным 500 °С.

Данные задачи сводятся к определению отводимой мощности в системе охлаждения [4]. Для отвода тепла можно использовать вентилятор, радиатор и другие системы. Рассмотрим пример расчета системы охлаждения с элементом Пельтье, прямоугольной формы, с направленным потоком воздуха в сторону холодной поверхности, со следующими параметрами: ( $h \times d \times s$ ) 60×30×5 мм, температура холодной поверхности 0 °С.

Коэффициент динамической вязкости для сухого воздуха при температуре 0 °С:

$$\mu = 13,28 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Процесс переноса тепла между поверхностью твердого тела и газом называется теплоотдачей и определяется по закону Ньютона:

$$P = \alpha \cdot \pi \cdot d \cdot h (T_{\text{рент.тр}} - T_{\text{х}}), \quad (6)$$

где  $T_{\text{рент.тр}}$  – температура боковой поверхности анода;  $T_{\text{х}}$  – холодной поверхности элемента Пельтье;  $\alpha$  – температурный коэффициент объемного расширения;  $d$  – длина элемента Пельтье;  $h$  – ширина элемента Пельтье.

Для анализа и оценки рентгеновской трубки БХ-9 для сухого воздуха при нормальном давлении  $\lambda = 2,44 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К) и сухом воздухе целесообразно температуропроводность вычислять через:

1) критерий Нуссельта, содержащий искомый элемент  $\alpha$  и характеризующий интенсивность теплоотдачи:  $Nu = \alpha d / \lambda$ ;

2) критерий Рейнольдса, описывающий гидродинамический режим потока теплоносителя, который может быть ламинарным, переходным или развитым турбулентным:  $Re = vd / \mu$ .

Для рассматриваемого случая критерий Рейнольдса:

$$Re = 5 \cdot 0,03 / 17,2 \cdot 10^{-6} = 8720.$$

В этих выражениях  $d$  – определяющий линейный размер системы;  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $\mu$  – теплофизические параметры хладагента. Соответственно, теплопроводность, температурный коэффициент объемного расширения, кинематическая вязкость;  $v$  – характерная скорость течения хладагента (воздуха) от 3 до 5 м/с;  $g$  – ускорение свободного падения.

Для воздуха и любых двухатомных ламинарных газов при турбулентном режиме движения критерий Нуссельта можно записать следующим образом:

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8\xi k}, \quad Nu = 0,018 \cdot 8720^{0,8 \cdot 1,5 \cdot 1} = 38,35,$$

$\xi = 1,5$  – коэффициент подбирается по табличным данным [1], зависит от длины и ширины поверхности (60 мм / 30 мм = 2) и числа  $Re = 8720$ ;  $k$  – поправочный коэффициент, для турбулентного режима  $k = 1$  (так как применяется направленный источник потока воздуха).

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / d = 38,35 \cdot 2,44 \cdot 10^{-2} / 0,03 = 31,19.$$

Из этого следует, что отводимая мощность равна:

$$P = 31,19 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 0,06 \cdot 500 = 88,6 \text{ Вт.}$$

### Выводы и результаты

Результаты анализа параметров малогабаритной рентгеновской трубки являются частью комплексных исследований, определяющих эффективное состояние системы рентгеновского излучения. Приведенные расчеты направлены на создание эффективной рентгеноспектральной установки.

Исследуемые параметры относятся как к радиационно опасным (мощность экспозиционной дозы, энергия излучения), так и к радиационно безопасным (избыточное тепло, выделяемое при работе прибо-

ров). Контроль за измерениями этих параметров следует проводить в целях обеспечения безопасных условий труда, проверки эффективности и исправности защиты и приборов.

### Список литературы

1. Иванов, С. А. Рентгеновские трубки технического назначения / С. А. Иванов, Г. А. Щукин. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 200 с.
2. Иванов, С. А. Рентгеновские трубки для научных исследований промышленного контроля и технологии. Обзоры по электронной технике / С. А. Иванов, Г. А. Щукин // Сер. Электровакуумные и газоразрядные приборы. – 1982. – Вып. 1(867). – М. : Электроника, 1982. – 48 с.
3. Рентгентехника. Справочник в 2 томах / под ред. В. В. Клюева. – Т. 2. – М. : Машиностроение, 1992. – 368 с.
4. Усманский, Я. С. Рентгенография металлов и полупроводников. – Л. : Metallurgy, 1969. – 496 с.

### Study of parameters of compact x-ray tube

**Abstract.** *The article examines the characteristics that influence the development, experiment, research, manufacturing, repair and adjustment X-ray systems. Also in the article shows the results of individual calculation parameters with X-ray tube BH9. The results are part of the comprehensive studies that determine the effective state of the X-ray.*

**Keywords:** small-sized X-ray tube, the exposure dose, Nusselt's criterion, Reynolds criterion, the frequency of the radiation.

*В. П. Усольцев*, канд. техн. наук, вед. инженер-электроник

E-mail: vpusoltcev@mail.ru

*Н. А. Девятков*, аспирант

E-mail: scor32@mail.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Использование двухчастотного лазерного зондирования для контроля загрязнений сточных вод**

*В докладе решается задача повышения достоверности и оперативности анализа загрязнений водных сред за счет использования двухчастотного лазерного зондирования для контроля загрязнений сточных вод с целью дальнейшего принятия решений о проведении тех или иных защитных мероприятий.*

**Ключевые слова:** загрязнение сточных вод, очистка сточных вод, распознавание загрязнений, устранение аварий, оптоэлектроника, лазерные технологии.

Загрязнение биосферы, в том числе источников водоснабжения, является реальным фактором, который оказывает отрицательное влияние на здоровье людей. По данным Всемирной организации здравоохранения от использования некачественной питьевой воды каждый год в мире страдает каждый десятый человек. Значительная загрязненность водных объектов и малоэффективные технологии подготовки воды – это главные причины низкого качества питьевой воды [1].

Степень вредности сточных вод зависит от токсичности загрязняющих ее веществ. Чтобы определить состав сточных вод, проводится множество различных анализов, как химических, так и санитарно-бактериологических [2].

Широкое распространение получили оптические методы анализа неоднородных жидких сред, основанные на измерении пропускания, поглощения или рассеяния света анализируемыми веществами в области ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных волн. Распространены различные методы в зависимости от характера взаимодействия анализируемого вещества со световой энергией, способа ее измерения и вида используемых оптоэлектронных измерительных приборов. В основе рассмотренных методов контроля лежит способность подавляющего большинства органических веществ различных классов поглощать свет в области 250–280 нм [3].



Из-за технических сложностей применение рассмотренных методик, технологий и приборов анализа неоднородных жидкостей, работающих в ультрафиолетовой (менее 0,5 мкм) области спектра электромагнитного излучения при создании автоматизированных систем управления аварийными выбросами в сточных водах промышленных предприятий в реальном масштабе времени довольно проблематично [4].

Указанные проблемы выдвигают актуальную проблему повышения эффективности санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод. Целью настоящей работы является разработка и исследование метода аналитического контроля вида и степени аварийных залповых загрязнений в технологическом процессе промышленного производства на основе анализа зональной оптической плотности, оптимального выбора оптического частотного диапазона, использования двухчастотного лазерного зондирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать технологию двухчастотного лазерного зондирования для контроля загрязнений сточных вод и промышленных стоков на наличие следов нефтепродуктов и углеводородных загрязнений с учетом их спектральных характеристик;
- провести анализ спектра излучения, спектральной чувствительности и выбрать высокоэффективные источники и приемники оптического излучения с большим ресурсом непрерывной работы;
- разработать конструкцию защиты оптического тракта с высокой стойкостью к химическим загрязнениям, токсичным и загрязняющим реагентам;
- автоматизировать процесс контроля и дистанционной обработкой данных, возможностью встраивания аппаратуры в реальные системы канализации;
- изготовить новый вид экспериментального образца оптоэлектронного прибора экспресс-анализа сточных вод.

Существование корреляционных связей между оптической плотностью и другими параметрами, характеризующими содержание загрязнения, позволяет проводить достоверный оперативный анализ загрязнений водных сред с целью дальнейшего принятия решений о проведении тех или иных защитных мероприятий [5, 6].

Для больших промышленных предприятий предлагаемый подход чрезвычайно перспективен, в этом случае контроль оптической плотности, функционально связанной с видом и содержанием загрязнений позволяет в режиме реального времени фиксировать и устранять аварийные выбросы, оперативно производить очистку сточных вод

и обеспечивать заданный ритм промышленного производства. Автоматизация устранения аварийных выбросов в реальном масштабе времени с применением оптических методов контроля свойств жидких сред имеет перспективу в связи с развитием современных средств оптоэлектроники и лазерных технологий [7].

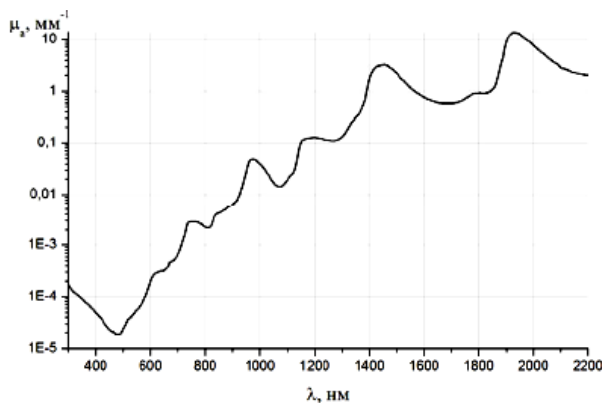
Оптическая плотность  $D$  как мера ослабления света прозрачными объектами вычисляется как десятичный логарифм отношения потока излучения падающего на объект,  $\Phi_{in}$ , к потоку излучения прошедшего через него,  $\Phi_{out}$ .

$$D = \lg \frac{\Phi_{in}}{\Phi_{out}} = \lg \Phi_{in} - \lg \Phi_{out}.$$

Во многих случаях оказывается полезным использовать такую величину, как спектральная плотность потока излучения. Спектральная плотность потока излучения представляет собой поток излучения, приходящийся на малый единичный интервал спектра. Точки спектра при этом могут задаваться их длинами волн, частотами, энергиями квантов излучения, волновыми числами или любым другим способом.

В большинстве случаев аппаратура контроля загрязнений сточных вод использует одну рабочую частоту. Значительно расширить функциональные возможности, повысить достоверность и оперативность контроля позволит анализ зональной оптической плотности при двухчастотном лазерном зондировании.

Учитывая спектр поглощения воды (рисунок) и спектр излучения отечественных полупроводниковых лазеров, наиболее перспективен рабочий диапазон в области 400–600 нм.



Спектр поглощения воды

За счет разработки и внедрения оригинальной эффективной технологии двухчастотного лазерного зондирования для контроля загрязнений сточных вод и промышленных стоков на наличие следов нефтепродуктов и углеводородных загрязнений, позволяющей изготовить новый вид экспериментального образца оптоэлектронного прибора экспресс-анализа сточных вод на основе высокоэффективных источников и приемников оптического излучения с большим ресурсом непрерывной работы, уменьшение массо-габаритных размеров, уменьшение времени анализа, высокая стойкость к химическим загрязнениям, токсичным и загрязняющим реагентам с обеспечением автоматизации процессов контроля и дистанционной обработкой данных, возможностью встраивания его в реальные системы канализации и использование образца для создания автоматизированных систем управления аварийными выбросами в сточных водах промышленных предприятий в реальном масштабе времени позволяет повысить обеспечение экологической безопасности водной среды.

#### Список литературы

1. *Новиков, Ю. В.* Экология, окружающая среда и человек. – М. : Фаир, 1999. – 320 с.
2. *Кичигин, В. И.* Выбор систем водоотведения в условиях неопределенности // Инженерная защита окружающей среды: материалы докладов Международной конференции. – М. : МГУИЭ, 2000. – С. 5–16.
3. *Казицына, Л. А.* Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс-спектропии в органической химии / Л. А. Казицына, Н. Б. Куплетская. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 240 с.
4. *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.
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. мат. IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 ноября 2013 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 349–353.
6. *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 XXI веке – 2013. Интеграция науки, образования и производства : сб. мат. IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 ноября 2013 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 354–357.
7. *Алексеев, В. А.* Идентификация аварийных выбросов в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопреде-

ленности / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2(22) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 173–177.

## **The use of dual-frequency laser sensing for pollution control of wastewater**

**Abstract.** *In the report solves the problem of increasing the reliability and efficiency of analysis of pollution of water environments through the use of dual-frequency laser sensing for pollution control of wastewater with the purpose of further decision making about carrying out those or other protective measures.*

**Keywords:** wastewater pollution, wastewater treatment, recognition of contamination, elimination of accidents, optoelectronics, laser technology.

*А. В. Усольцева*, соискатель  
E-mail: *ajieksa\_oo@mail.ru*  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Использование лазерного гравирования при декоративной обработке органического стекла**

*В докладе проведен анализ использования лазерного гравирования при декоративной обработке органического стекла с целью дальнейшего принятия решений о выборе тех или иных режимов работы лазерной установки.*

**Ключевые слова:** лазерное гравирование, органическое стекло, потребительские свойства художественно-промышленных изделий, оптоэлектроника, лазерные технологии.

Оргстекло, современный, функциональный и эстетичный материал, обладает множеством полезных свойств, естественной красотой, из-за чего изготавливаемые из него изделия востребованы в самых различных сферах человеческой деятельности [1].

Высокие эстетические требования к поверхности, низкая механическая прочность, наличие внутренних напряжений затрудняют применение традиционных видов гравирования оргстекла – гранения, шлифования, резания, выстукивания, абразивно-струйного гравирования [2]. Высокую привлекательность изделиям из оргстекла придает лазерная обработка, в том числе гравирование и резка. Благодаря созданию надежного и достаточно экономичного лазерного оборудования в 70–80-х гг. прошлого века возникла новая промышленная технология – лазерная технология обработки материалов. Это позволяет без переналадки гибко изменять наносимые на изделия изображения при максимальном использовании материала [3].

Целью настоящей работы является исследование возможности повышения потребительских свойств художественно-промышленных изделий из органического стекла при гравировании лазером.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Проведен анализ физических, механических, химических свойств органического стекла, влияющих на гравирование.

2. Критически оценены возможности лазерного гравирования, его преимущества в сравнении с альтернативными технологиями.

3. Обосновано влияние микроструктуры на выбор лазерной техники.

4. Исследовано влияние лазерных технологий гравирования на дизайнерские решения.

5. Исследовано влияние параметров лазерного излучения (мощности, разрешающей способности, частоты, скорости движения лазерного луча и т.д.) на физические свойства материала (глубина разрушения слоя, цветовой тон, контраст цвета и т.д.)

6. Исследовано влияние изменения физических свойств материала под действием лазерного излучения на эстетические характеристики художественно-промышленных изделий.

7. Разработанных рекомендации по проектированию графических изображений, полученных лазерным гравированием.

Основными преимуществами лазерного гравирования являются:

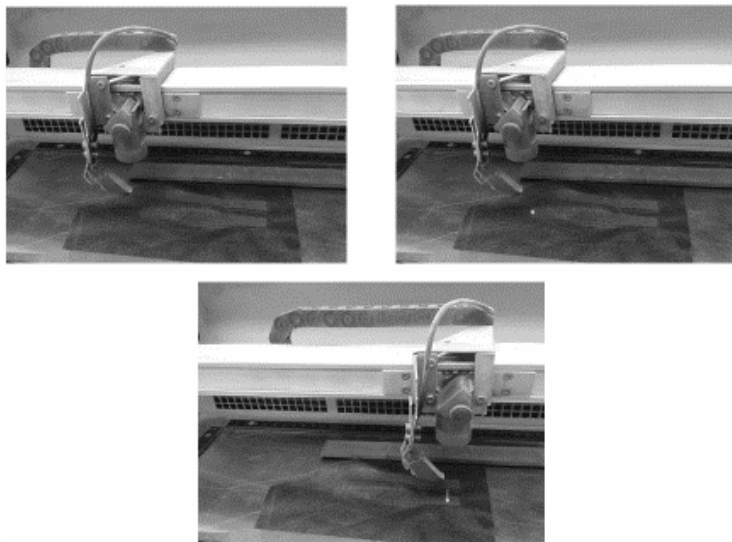
- не требуется высокой квалификации персонала;
- проводится бесконтактная обработка заготовок;
- отсутствуют внутренние напряжения;
- получается ровный, гладкий и стабильный контур изображения;
- получается высокохудожественный контрастный темный вид картин и узоров;
- отсутствует погрешность позиционирования;
- отсутствует дополнительная обработка;
- возможно непосредственное нанесение сложных трехмерных структур;
- возможно комбинирование лазерного нанесения с другими видами гравирования;
- возможно нанесение на изделия комбинированных материалов при простоте создания сувениров;
- высокая оперативность и производительность.

При лазерном воздействии на неметаллические материалы происходит термический процесс разделения, напоминающий процесс горения. При этом можно выделить три области (рис. 1):

• В первой – начинается нагрев участка материала от внешнего источника энергии и медленное постепенное обугливание и выгорание материала.

• Во второй – материал достаточно прогревается и начинается активное термическое разложение на газообразные составляющие, и на поверхности появляется обугливающийся слой, выгорание ступенчато увеличивается.

- В третьей – при дальнейшем нагреве происходит разложение материала на газообразные составляющие, усиливается и происходит воспламенение материала.



*Рис. 1.* Воздействие лазерного излучения на материал

Для проверки корректности применения задания режимов взаимодействия лазерного излучения с оргстеклом воспроизводился полутонный клин [4] от белого до черного поля (рис. 2) при изменении мощности лазерного излучения от 2 до 12 Вт, скорости лазерного гравирования от 10 до 180 см/с, разрешающей способности от 100 до 1000 dpi., частоты импульсов от 500 до 1000 Гц, диаметра сфокусированного лазерного луча на материале от 0,05 до 1,0 мм, угла падения лазерного луча от 0° до 45°, и комбинации этих режимов.

В результате выбраны режимы лазерного гравирования:

- Мощность лазерного излучения 11,4 Вт.
- Скорость лазерного гравирования 27,0 см/с.
- Разрешающая способность 500 dpi.
- Частота импульсов 1000 Гц.
- Диаметр сфокусированного лазерного луча на материале 0,1 мм.
- Угол падения лазерного луча 0°.

Изделия, полученные с применением разработанной методики, представлены на рис. 3.

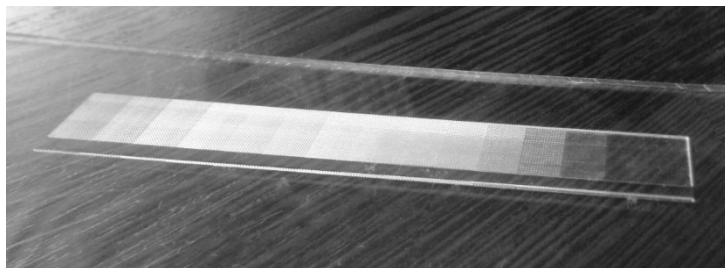


Рис. 2. Полутоновой клин от белого до черного поля



Рис. 3. Изделия с лазерной гравировкой

Проведенные исследования показали, что для получения наиболее четкого и контрастного изображения, для максимального сохранения уникального естественного рисунка материала, компенсации имеющихся естественных неоднородностей, возможности повышения потребительских свойств художественно-промышленных изделий из органического стекла необходимо использовать рекомендованные режимы работы лазерной установки при наибольшей допустимой мощности излучения и скорости гравирования.

Практическая значимость работы определяется разработанными предложениями, применимыми к решению актуальных задач задания режимов лазерного гравирования для декоративной обработки органического стекла при многовариантности реализаций в условиях неопределенности используемого материала. Перспективно продолжение работ применительно к другим материалам [5].

#### Список литературы

1. Серова, В. Н. Полимерные оптические материалы. – СПб. : Научные основы и технологии, 2015. – 384 с.



2. Литвиненко, С. Технологии гравирования. – Киев : Витражная мастерская, 2006. – 112 с.

3. Григорьянц, А. Г. Лазерная техника и технология : в 7 кн. – Кн. 4. – Лазерная обработка неметаллических материалов : пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, А. А. Соколов ; под ред. А. Г. Григорьянца. – М. : Высш. шк., 1988. – 187 с.

4. ГОСТ 24930–81 Клип полутоновой для факсимильной аппаратуры. – М. : Изд-во стандартов, 1981.

5. Усольцева, А. В. Особенности лазерного гравирования изделий из кожи / А. В. Усольцева, В. П. Усольцев // Приборостроение в XXI веке – 2014. Интеграция науки, образования и производства : сб. мат. X Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 12–14 ноября 2014 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – С. 522–524.

## **Use of laser engraving at decorative processing of organic glass**

**Abstract.** *The report analyzes the use of laser engraving in decorative processing of organic glass for further decision on the choice of various modes of the laser system.*

**Keywords:** laser engraving, organic glass, plexiglas, consumer characteristics, artistic-industrial products, optoelectronics, laser technology.

Т. Чжан, магистрант

E-mail: ztm1212121@gmail.com

С. И. Юран, д-р техн. наук, проф.

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Расширение спектрального диапазона при регистрации фотоплетизмограмм

*Проанализированы возможности регистрации фотоплетизмограмм в различных спектральных диапазонах. Проведены предварительные эксперименты в инфракрасной, красной и зеленой областях спектра.*

**Ключевые слова:** артефакты, оптоэлектронный датчик, спектральный диапазон, фотоплетизмография.

В последние годы для измерения частоты сердечных сокращений и регистрации периферического пульса наряду с традиционным оптическим диапазоном 0,8...1,0 мкм используется более коротковолновый диапазон, включающий длины волн зеленого света [1]. Это объясняется (существенно) большим поглощением зеленой составляющей оптического излучения артериальной кровью поверхностных сосудов кожи. На рис. 1 приведены спектры поглощения оксигемоглобина (артериальная кровь) и дезоксигемоглобина или восстановленного гемоглобина (венозная кровь) [2], из которых видно, что поглощение оптического излучения в области длин волн 0,55 мкм намного больше, чем в области 0,81 мкм (точка А).

В связи с этим на указанных длинах волн амплитуда пульсового сигнала существенно выше, что ведет к увеличению отношения сигнал/шум и, следовательно, к повышению качества регистрируемых фотоплетизмограмм. Кроме этого, при использовании в датчиках для фотоплетизмографии источников излучения, работающих в данной области спектра, снижается влияние артефактов движения на регистрируемый пульсовый сигнал [3, 4]. К недостаткам использования указанного диапазона частот следует отнести меньшую глубину проникновения оптического излучения в биоткань и то, что излучение с длинами волн менее 0,56 мкм в значительной степени поглощается меланином кожи [5], что ослабляет мощность светового потока, реги-

стрируемого фотоприемником оптоэлектронного датчика. Так, если сравнивать проникновение в кожу световых лучей с длиной волны 0,56 мкм (зеленый свет) и 0,96 мкм (инфракрасное излучение), то глубина проникновения инфракрасного излучения будет в четыре раза больше, чем зеленого [6].

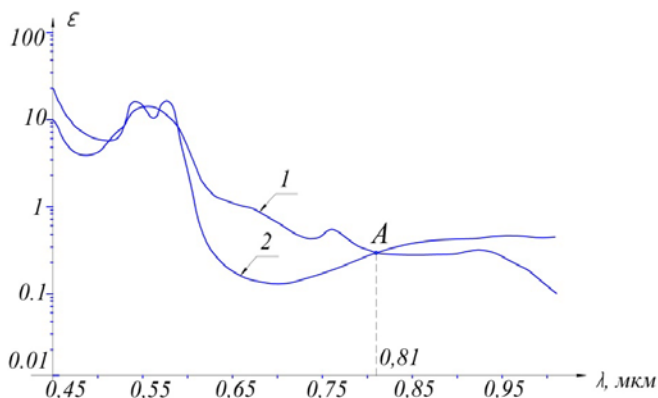


Рис. 1. Спектры поглощения восстановленного гемоглобина 1 и оксигемоглобина 2, где по оси ординат отложен коэффициент экстинкции  $\Sigma$

Целью работы является оценка влияния артефактов при использовании оптоэлектронных датчиков, работающих в различных спектральных диапазонах.

Для этого были разработаны и изготовлены датчики планарного типа, в которых фотоприемник воспринимает рассеянный от биологической ткани световой поток, со светодиодами зеленого, оранжевого и инфракрасного излучения с близкими электрическими и конструктивными параметрами типа OSPG511P и фотодиод одного типа.

После регистрации фотоплетизмограмм с использованием указанных датчиков и воздействием одинаковых артефактов реализации пульсовых кривых обрабатывались с помощью разработанной программы для просмотра и редактирования фотоплетизмограмм PulseViewer 4.c., позволяющей выделить периоды пульсовых кривых, искаженных артефактами [7]. Исключение некорректных данных в этой программе производилось путем поиска значений пульсовой кривой, выходящих за пределы заданного оператором допуска по амплитуде и длительности периода. При этом уровень артефактов в записанной реализации пульсовых кривых оценивался по количеству исключенных из нее фотоплетизмограмм, искаженных артефактами.

Сравнительный анализ фотоплетизмограмм, зарегистрированных с использованием разработанных датчиков, показал следующее. Выходной сигнал фотоплетизмографа, работающего в ИК-диапазоне, был выше, чем в остальных (см. рис. 2 и 3). Это можно объяснить существенной разницей в спектральной чувствительности фотодиода ФДК-155 к ИК-излучению и оранжевой, и особенно зеленой области спектра. Значительного отличия влияния артефактов при использовании датчиков с различной длиной волны излучения на данном этапе исследований не обнаружено.

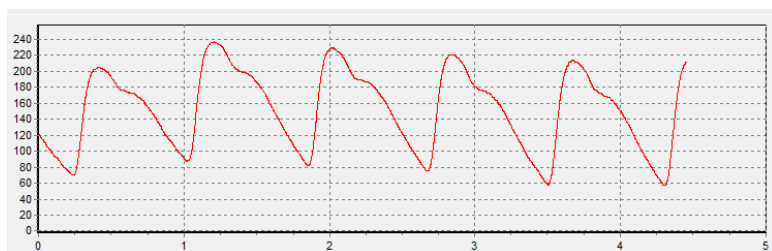


Рис. 2. Сигнал фотоплетизмограммы, зарегистрированный с использованием ИК-светодиода

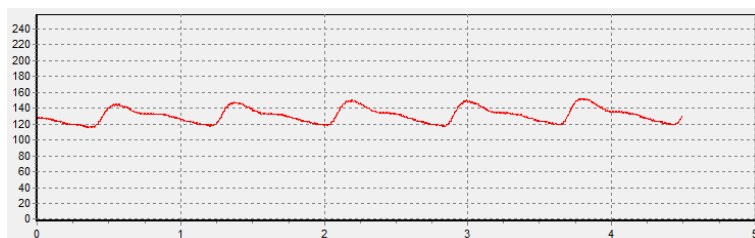


Рис. 3. Сигнал фотоплетизмограммы, зарегистрированный с использованием зеленого светодиода

В дальнейшем планируется проведение исследований с датчиками, в которых используются фотодиоды, имеющие более широкую спектральную характеристику, перекрывающую используемые длины волн излучения.

#### Список литературы

1. Multi-spectral optoelectronic device for skin microcirculation analysis / Asare L., Kviesis-Kipge E., Ozols M., Spigulis J., Ertis R. // Lithuanian J. of Physics, 2012, Vol. 52, No. 1, pp. 59–62.

2. *Стерлин, Ю. Г.* Специфические проблемы разработки пульсовых оксиметров // Медицинская техника. – 1993. – № 6. – С. 26–30.
3. *Tamura, T.* Wearable Photoplethysmographic Sensors – Past and Present / T. Tamura, Y. Maeda, M. Sekine, M. Yoshida // Electronics, 2014, No. 3, pp. 282–302.
4. *Maeda, Y.* The Advantages of Wearable Green Reflected Photoplethysmography / Y. Maeda, M. Sekine, T. Tamura // J. of Medical Systems, 2011, Vol. 35, pp. 829–834.
5. *Мошкевич, В. С.* Фотоплетизмография. – М. : Медицина, 1970. – 208 с.
6. *Giltvedt, J.* Pulsed multifrequency photoplethysmograph / J. Giltvedt, A. Sira, P. Helme // Med. and Biol. Eng. and Comput, 1984, Vol. 22, pp. 212–215.
7. *Алексеев, В. А.* Программа для просмотра и редактирования фотоплетизмограмм / В. А. Алексеев, Г. С. Варзегов, К. И. Дизендорф, С. И. Юран // Лазеры. Измерения. Информация: сборник докладов 21-й Международной конф. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2011. – Т. 3. – С. 118–125.

## **The extension of the spectral range when registering photoplethysmograms**

**Abstract.** *Analyzed the possibility of registration of photoplethysmograms in different spectral ranges. Preliminary experiments in the infrared, red and green regions of the spectrum.*

**Keywords:** artifacts, optoelectronic sensor, spectral range, photoplethysmography.

Т. Чжан Т., магистрант

E-mail: <sup>1</sup>ztm1212121@gmail.com

С. И. Юран, д-р техн. наук, проф.

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## Обработка фотоплетизмограмм с применением адаптивной фильтрации

*В ряде случаев при регистрации фотоплетизмограмм полезный сигнал искажается за счет влияния шумов и артефактов, имеющих различные свойства. Эффективным методом снижения влияния помех является адаптивная фильтрация, позволяющая удалить из полученного сигнала большинство шумов и ошибок и приблизить его к идеальному сигналу, который мы хотим получить. В работе использован LMS-алгоритм обработки сигнала, позволяющий минимизировать среднеквадратическую ошибку. Полученные результаты показали, что адаптивный фильтр хорошо работает при обработке фотоплетизмограмм, и его можно использовать для повышения качества регистрируемых сигналов.*

**Ключевые слова:** адаптивный фильтр, артефакты, фотоплетизмограмма, LMS-алгоритм.

На практике метод фотоплетизмографии не может работать без шумов и артефактов. Когда интенсивность шумов и артефактов высокая, реальные сигналы, которые мы хотим получить, имеют низкую диагностическую ценность и оказываются непригодными для анализа. Для того, чтобы удалить помехи или уменьшить их влияние, необходимо использовать фильтрацию.

Поскольку свойства этих шумов и артефактов всегда разные, параметры фильтра необходимо изменять в соответствии с нашими требованиями. Параметры адаптивного фильтра меняются по мере изменения внешних воздействий на систему фотоплетизмографии. После некоторого промежутка времени адаптивный фильтр будет автоматически регулировать свои параметры и наконец будет соответствовать самым идеальным требованиям фильтрации.

В настоящее время техника адаптивной фильтрации нашла широкое применение в удалении шумов при кодировании речевого сигнала, анализе сейсмических волн и т. д. Адаптивный фильтр целесообразно

использовать, когда неизвестны свойства воздействующих на сигнал шумов и артефактов.

Итак, использование алгоритма адаптивной фильтрации эффективно, когда свойства входного сигнала неизвестны или когда его свойства изменяются [1–3]. На рис. 1 представлена основная схема адаптивного фильтра.

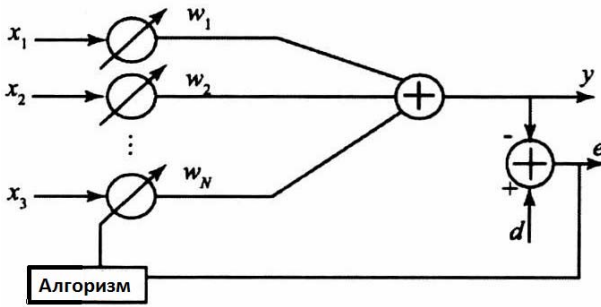


Рис. 1. Схема адаптивного фильтра

Сигналы  $x_1 \dots x_n$  являются входными сигналами, что можно представить матрицей  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ . Значения  $w_1, \dots, w_N$  являются весовыми коэффициентами фильтра. Сигнал  $d$  является желаемым выходным сигналом, сигнал  $y$  является действительным выходным сигналом, а сигнал  $e$  является ошибкой между  $d$  и  $y$ . Мы можем получить следующую функцию среднеквадратической ошибки:

$$E[e^2] = E[(d - y)^2] = E[(d - W^T X)^2]. \quad (1)$$

Если входной сигнал и желаемый выходной сигнал известны, то среднеквадратическая ошибка между действительным выходным сигналом и желаемым выходным сигналом может иметь минимальное значение. Поэтому принцип работы адаптивного фильтра состоит в том, что система автоматически изменяет весовые коэффициенты, чтобы среднеквадратическая ошибка между действительным выходным сигналом и желаемым выходным сигналом была минимальной.

Таким образом, на основе адаптивного фильтра строится алгоритм адаптивной фильтрации. Существуют два наиболее часто используемых алгоритма: LMS и RLS [4]. LMS алгоритм связан с минимизацией среднеквадратической ошибки, а алгоритм RLS – с минимальной суммой квадрата ошибок. Алгоритм LMS удобен в использовании, дает

стабильные результаты и имеет небольшое количество вычислений, поэтому он нашёл широкое применение.

Как было сказано выше, цель алгоритма LMS состоит в том, чтобы минимизировать среднеквадратическую ошибку за счет изменения весовых коэффициентов. Основную функцию алгоритма можно записать в следующем виде:

$$e(n) = d(n) - W^T X(n), \quad (2)$$

$$W(n) = W(n) + \mu e(n) X(n), \quad (3)$$

где  $W(n)$  – матрица коэффициентов фильтра;  $X(n)$  – входной сигнал;  $d(n)$  – желаемый сигнал;  $e(n)$  – разница между желаемым сигналом и получаемым сигналом;  $\mu$  – длина шага фильтра, воздействующая на приближение к оптимальному фильтру [4].

**Симуляция.** Для исследования мы использовали сигнал фотоплетизмограммы, полученный с сайта Physio Bank (рис. 2).

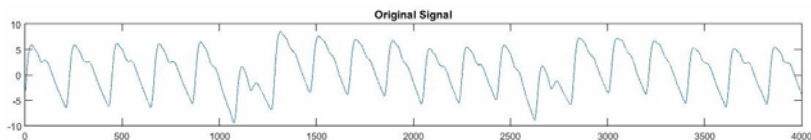


Рис. 2. Исходный сигнал

Далее мы наложили на часть сигнала помеху, имеющую место при регистрации фотоплетизмограмм. В результате обрабатываемый сигнал приобрел вид, показанный на рис. 3.

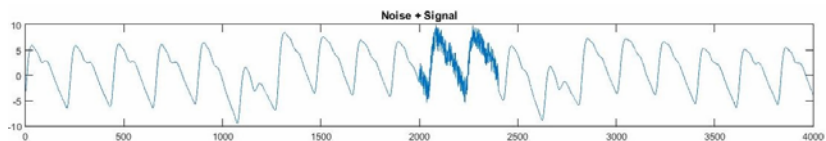


Рис. 3. Сигнал с помехами

Для обработки сигнала мы использовали LMS алгоритм.  $X(n)$  – сигнал с помехами;  $d(n)$  – оригинальный сигнал (без помех), начальная матрица  $W(0)$  равна  $[0]$ . После обработки получен следующий результат (рис. 4).



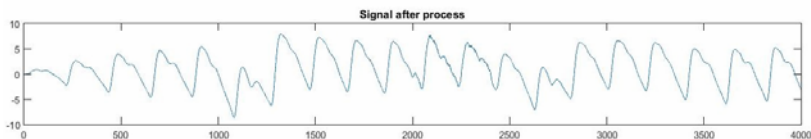


Рис. 4. Обработанный сигнал

## Заключение

Мы можем видеть, что в результате фильтрации помехи успешно удалены. При использовании адаптивного фильтра нам не нужно думать о частоте фильтрации и свойствах помехи. Система адаптивного фильтра сама найдёт оптимальные параметры. Мы даже можем получать сигнал помехи из  $e$ , который мы удалили. Это значит, что, если в сигнале помехи есть полезная информация, у нас еще есть шанс отделить эту информацию от помех.

Для получения хороших результатов обработки адаптивному фильтру нужно время для поиска оптимальных параметров фильтра. Продолжительность времени регулирования и точность фильтра зависят от длины шага фильтра  $\mu$ . Если  $\mu$  меньше, то время регулирования дольше и точность фильтра лучше и наоборот.

Хотя сигнал фотоплетизмограммы похож на периодическую функцию, он периодической функцией в принципе не является. Поэтому если помех очень много, то отношение сигнал/помеха не очень большое, адаптивный фильтр «не знает» какие параметры являются оптимальными, и это значит, что в данном случае техника адаптивного фильтра не эффективна.

## Список литературы

1. *Diniz, P. S. R.* Adaptive Filtering – Algorithms and Practical Implementation, Springer, 2013, 673 p.
2. *Wang, L.* Adaptive Filter Algorithm Research and Matlab Realization / L. Wang, J. Zhai, H. Xiong // Modern Electronic Technique, 2008, No. 3, pp. 174–175.
3. *Zhang, T.* Design of LMS adaptive filter based on LabVIEW and MATLAB / T. Zhang, S. Li, J. L. Ding // Electronic Test, 2009, No. 1, pp. 40–43.
4. *Bellanger, M. G.* Adaptive Digital Filters, Marcel Dekker, Inc., 2001, 450 pp.

## Processing of photoplethysmograms by using adaptive filtering

**Abstract.** *In some cases, when registering photoplethysmograms, useful signal is distorted due to the influence of noise and artifacts with different properties. An effective method of reducing the influence of interference is adaptive filtering, which*

*allows to remove from the received signal most noise and errors and to bring it closer to the ideal signal that we want to. The study used the LMS signal processing algorithm, allowing to minimize the RMS error. The results showed that the adaptive filter works well in the processing of photoplethysmograms, and it can be used to improve the quality of recorded signals.*

**Keywords:** adaptive filter, artifacts, photoplethysmogram, LMS algorithm.

## Секция 6. Алгоритмы и программные системы для приборостроения

УДК 004.021

R. Bustami, Magister Student  
E-mail: ridho.bustami@gmail.com  
Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

### Implementation of Image Encryption Algorithm with One-time Pad and Pseudo-random Chaos in Java

*Many of Systems of chaos are used for image cryptography because in chaos system has characteristic of sensitivity form changing in initial values. In this paper, researched simple algorithm for encrypting image with pseudo-random chaos. Image is encrypted by logistic map and One-time pad which in this context keys produced by chaos system. Chaos system produced numbers pseudo-random. Result of experiment in Java programing language are showed that the combination one-time pad and pseudorandom chaos can secure digital images.*

**Keywords:** Chaos System, Logistic Map, One-time pad, Pseudo-random, Java programing language, Digital Image.

#### Introduction

Sending or digital image in communication channel or saving in disk or cloud system has possibility of attacking from another side who doesn't have access for taking, changing or looking our image. Cryptography is one of solution for protecting and saving our data especially in this paper the data is image. Encrypted digital image can be seen but without key the encrypted image don't have meaning because we can see original image.

Actually, traditional cryptography block cipher algorithm like (DES, GOST, AES, etc. That algorithms can be used for encrypting image, but not so effective for securing image. The ineffectiveness of using that algorithm is time processing for encrypting and decrypting. It's happened because value of data or said may of bits is too many and also for block cipher algorithm needed change from pixels of image to bit on the block. [1–2, 5].

Compared to block cipher, stream cipher has advantages faster than block cipher. Because of in stream cipher isn't used looping process for

encryption. One-time pad is one of the classic stream cipher which mathematically has good method of security. Secureness in this algorithm can be found in how generated keys for that stream cipher. Generated keys have to have same length in plain text, random, and also not to be repeated.

But practically one-time pad can't be implemented with simple way where using random keys in transmitter and also in receiver. The keys should be send trough special channel which needed much time and cost for sending keys. However one-time pad can be realized with keys which generating unrepeatabe random numbers. One of characteristic number which generating by chaos system is unrepeatabe and also has sensitivity from initial values. In this article, meaning of sensitivity is how the numbers has big differences if initial value changed.

Beside of that sensitivity of chaos system also hasn't repeatabe period, in another say the result of system never repeat in the same initial value. This characteristic is very important for producing keys in chaos system that could be used in one time pad algorithm. Although unrepeatabe, chaos system has a deterministic character which mean random number can be produced in both of transmitter and receiver with the same initial value parameters.

Method of chaotic system which used in this article is logistic map. Logistic map is the one of simplest way to produce random number, that's why processing time for generating keys fast and also secure.

### **Logistic Map**

The logistic map is a polynomial mapping (equivalently, recurrence relation) of degree 2, often cited as an archetypal example of how complex, chaotic behaviour can arise from very simple non-linear dynamical equations. The map was popularized in a seminal 1976 paper by the biologist Robert May, [1] in part as a discrete-time demographic model analogous to the logistic equation first created by Pierre François Verhulst [2]. Mathematically, the logistic map is written:

$$X_{n+1} = rX_n(1 - X_n),$$

where  $X$  is a number between zero and one that represents the ratio of existing population to the maximum possible population;  $r$  – the values of interest for the parameter are those in the interval (0, 4].

Because the pixel value of image set can only hold integers with values from 0 to 255, values that range between 0 and 1 wouldn't work well for encryption [3]. So before we can use the current state of the chaos system to encrypt data we must first run it through the truncating function. This is just a simple function that takes two parameters, a large decimal value and an

integer representing the number of digits the function is to return. The equation simply multiplies the decimal by ten until it reaches the desired number of digits then truncates the remaining decimal places using the greatest integer function. The mathematical format of this equation can be seen as follows:

$$T(X, size) = \left\| X * X^{count} \right\|, X \neq 0.$$

Where count begins at 1 and is incremented until  $n * 10^{count} > 10^{size-1}$ . The result is then passed through the greatest integer function, denoted by the double lines.

The overall use of the truncating function is to make the numbers useable by the ciphering system as well as to chop off significant digits that would make it impossible to discover the current exact condition of a system. This would cause any attempt of key recovery to fail.

### One-time Pad

One-time pad, and was invented in 1917 by Major Joseph Mauborgne and AT&T's Gilbert Vernam. Classically, a one-time pad is nothing more than a large nonrepeating set of truly random key letters, written on sheets of paper, and glued together in a pad. In its original form, it was a one-time tape for teletypewriters. The sender uses each key letter on the pad to encrypt exactly one plaintext character. Encryption is the addition modulo 26 of the plaintext character and the one-time pad key character.

Each key letter is used exactly once, for only one message. The sender encrypts the message and then destroys the used pages of the pad or used section of the tape. The receiver has an identical pad and uses each key on the pad, in turn, to decrypt each letter of the ciphertext. The receiver destroys the same pad pages or tape section after decrypting the message [4].

Based on method of cryptography for using one time pad sum and modular operation are used in Latin alphabetical text.

For encrypting:

$$C_i = (\Pi_i + K_i) \text{ mod } 26.$$

For decrypting:

$$\Pi_i = (C_i - K_i) \text{ mod } 26.$$

Based on that formula, modified modular value into 255 because every pixel has range value 0–255. Formula mathematic will be shown like that:

$$C_i = (\Pi_i + K_i) \text{ mod } 256 \text{ and } \Pi_i = (C_i - K_i) \text{ mod } 256.$$

## Method of Cryptography

So here introduces a method how we protect our data digital image. The keys will be generated key from logistic map for entering one-time pad. The system can be any input image grayscale and white and also color image which has format .png or .bmp. Every pixel in image is composed in 8-bit (grayscale) or 24-bit (color). In 24-bit image can be parted into 3 part. In every part has 8-bit, this part usually said Red, Green, Blue layers. Encrypting and decrypting operation is simulated in each pixel with modulo operation.

Encryption step:

Input: digital image

Output: digital encrypted image

1) Convert image into pixels and save to matrix. If color image should be every pixels save into R, G and B component.

2) Change type of data value into byte in array  $(P_1, P_2, \dots, P_n)$ .

3) Repeat logistic map with initial value  $X_0$  (secret key) and convert in every value of chaos into integer number  $(K_1, K_2, \dots, K_n)$ .

4) Encrypt  $P_1$  with  $K_1$  and continue until  $P_n, K_n$  with formula:  
$$C_i = (\Pi_i + K_i) \bmod 256.$$

5) Create encrypted image from byte which already encrypted in step 4.

Decryption step:

Input: digital image

Output: digital encrypted image

1) Convert encrypted image into pixels and save to matrix. If color image should be every pixels save into R, G and B component.

2) Change type of data value into byte in array  $(P_1, P_2, \dots, P_n)$ .

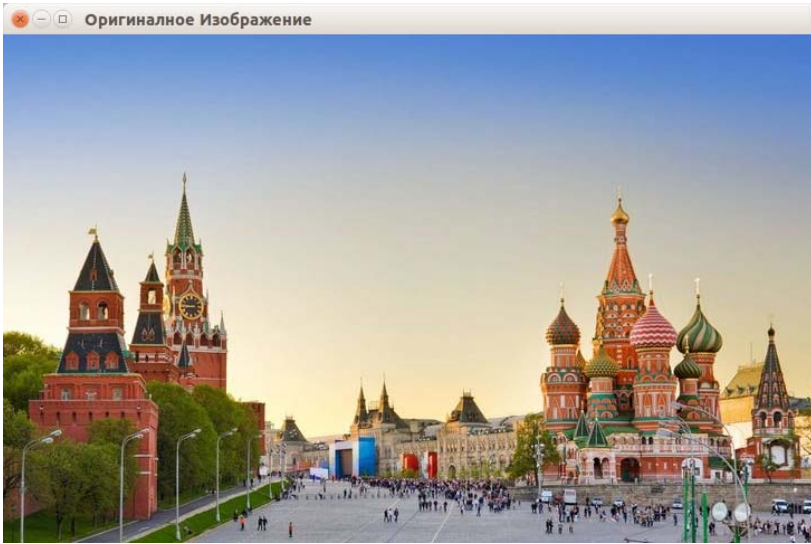
3) Repeat logistic map with initial value  $X_0$  (secret key) and convert in every value of chaos into integer number  $(K_1, K_2, \dots, K_n)$ .

4) Decrypt  $P_1$  with  $K_1$  and continue until  $P_n, K_n$  with formula:  
$$\Pi_i = (C_i - K_i) \bmod 256.$$

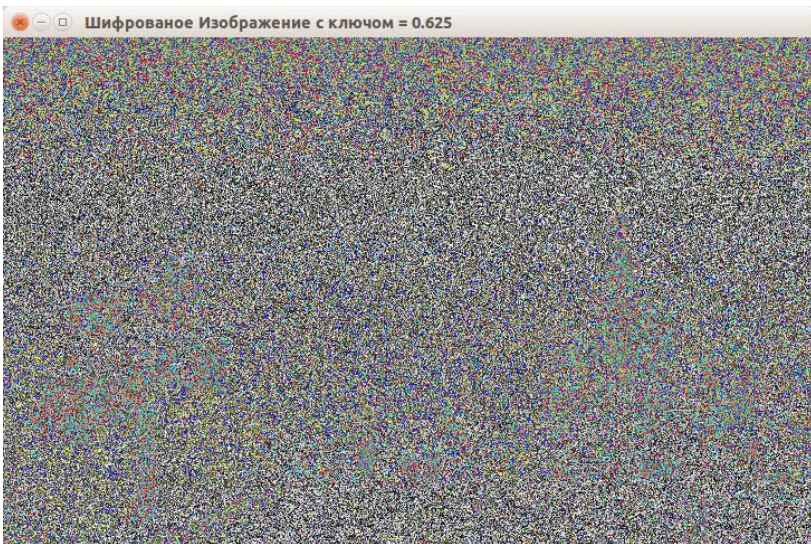
5) Create original image from byte which already decrypted in step 4.

## Experiment

Experiment created in Java programming language. Gray-scale and color images was tried in this experiment. At first experiment, parameter of keys used was used ( $x = 0.625$ ). Result of experiment showed that encrypted and decrypted work successfully and if in decrypting tried key  $X_0 = 0.625000001$  that fig. 4 the image can't be decrypted.



*Fig. 1.* Original Image



*Fig. 2.* Encrypted image with key  $X_0 = 0.0625$

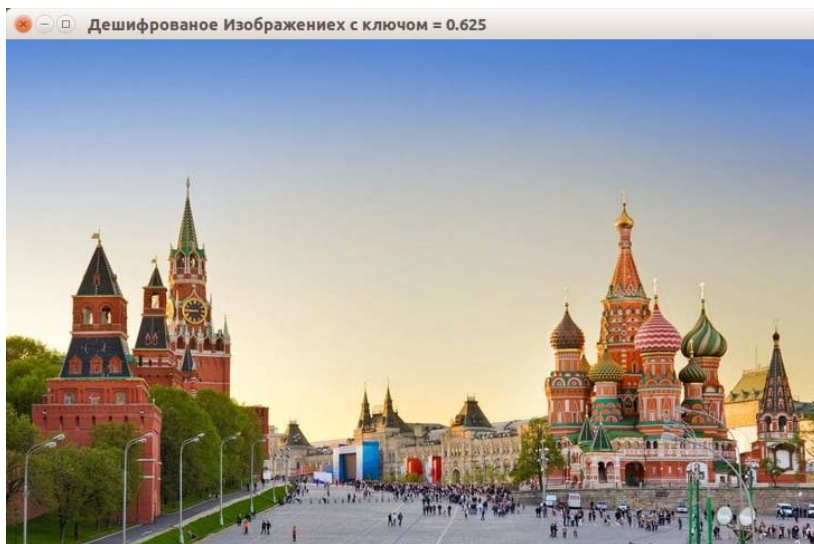


Fig. 3. Decrypted image with key  $X_0 = 0.0625$

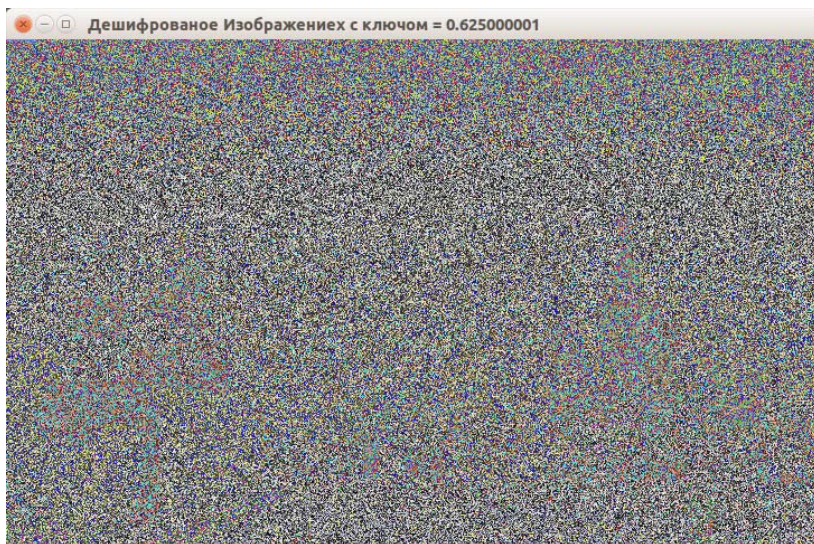


Fig. 4. Decrypted image with key  $X_0 = 0.625000001$



**Table 1. Comparison time processing when run in Matlab between DES, FOCT and logistic map — one time pad [6]**

| Algorithm  | DES      | FOCT     | Logistic map – One time pad |
|--|----------|----------|-----------------------------|
| Processing speed (Pixel/second)                                    | 4.8150   | 5.5313   | 85702                       |
| Encryption time processing (second)<br>(33×73 Pixel, 24 bit depth) | 124.7029 | 183.2866 | 0.098226                    |
| Encryption time processing (second)<br>(33×73 Pixel, 24 bit depth) | 244.5134 | 371.2706 | 0.0865                      |

### Conclusion

Combination algorithm between one-time pad and logistic map could encrypt and decrypt digital image. Tried for decrypting image with key just has different only  $10^{-9}$  can't decrypted to original image. Time processing for encrypting and decrypting image is better than DES and FOCT that will be possible implemented in for example mobile programming.

### References

1. *May, R. M.* "Simple mathematical models with very complicated dynamics," in *Nature*, 1976, No. 261(5560), pp. 459–467.
2. *Weisstein, E. W.* "Logistic map," from *MathWorld--A Wolfram [Website]*. – URL: <http://mathworld.wolfram.com/LogisticMap.html> (retrieved: 28.04.2006).
3. *Lampton, J.* "Chaos cryptography: protecting data using chaos," in *Mississippi School for Mathematics and Science*.
4. *Schneier, B.* *Applied cryptography. Second Edition: Protocols, Algorithms, and Source. Code in C (cloth)*. John Wiley & Sons, Inc., 1996.
5. *Munir, R.*, "Algoritma enkripsi citra dengan pseudo one time pad yang menggunakan sistem chaos," in *Konfrensi Nasional Informatika*, 2011, pp. 12–16. [In Indonesian].
6. *Bustami, R.* "Research and development of the encryption algorithm in specific area of digital image," *Izhevsk State Technical University. Manuscript submitted for publication*, 2015.

УДК 531:519.6

*А. А. Айзикович*, канд. физ.-мат. наук, доц.  
E-mail: pmi@istu.ru

*С. В. Клишин*, канд. физ.-мат. наук, доц.  
E-mail: serklshin@yandex.ru

Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

*С. А. Петрушин*, канд. техн. наук, доц.  
E-mail: psatsi@gmail.com

ООО «Республиканский центр робототехники», г. Ижевск

*В. П. Тарануха*, канд. техн. наук, доц.  
E-mail: kra\_dept@istu.ru

Ижевский государственный технический университет /  
имени М. Т. Калашникова

## О точности твердотельного волнового гироскопа

*В статье рассматривается новый способ съема и обработки информации, позволяющий повысить точность измерения угла поворота с помощью твердотельного волнового гироскопа.*

**Ключевые слова:** твердотельный, волновой, гироскоп.

В соответствии с методами, используемыми в настоящее время, угол поворота  $\alpha$  твердотельного волнового гироскопа относительно инерциальной системы отсчета (ИСО) определяется по углу поворота  $\theta$  узлов и пучностей стоячей волны относительно резонатора [1, 2]. При больших угловых скоростях вращения гироскопа относительно ИСО точность измерения угла ограничивается не только шумом, но и самим способом обработки информации. К примеру, при угловой скорости вращения гироскопа  $\Omega = 1000$  °/с относительно ИСО угловая скорость вращения стоячей волны относительно резонатора составляет  $\vartheta = K\Omega = 0,3 \cdot 1000 = 300$  °/с  $= 1,08 \cdot 10^6$  "/с, где  $K = 0,3$  – масштабный коэффициент. При такой скорости невозможно добиться высокой точности, когда погрешность измерения углового положения стоячей волны относительно резонатора не превышает 15". Действительно, стоячая волна поворачивается относительно резонатора на угол  $\Delta\theta = 15''$  за время:

$$\Delta t = \frac{\Delta\theta}{\vartheta} = \frac{15}{1,08 \cdot 10^6} = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ с} = 13,9 \text{ мкс.}$$

Для того чтобы измерить угол поворота  $\theta$ , надо определить новое положение узлов и пучностей стоячей волны относительно резонатора. Это определение выполняется по амплитуде колебаний, а для определения амплитуды резонатор должен совершить, по крайней мере, одно колебание. На одно колебание затрачивается время, равное периоду колебаний:

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{5500} = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{ с} = 182 \text{ мкс,}$$

где  $\nu = 5500$  Гц – частота колебаний резонатора. Видно, что период  $T = 182$  мкс значительно больше времени  $\Delta t = 13,9$  мкс. Следовательно, определять в процессе вращения при большой угловой скорости гироскопа угловое положение стоячей волны с погрешностью не более  $15''$  невозможно.

Максимальная угловая скорость, при которой еще можно вести измерения в процессе вращения с требуемой точностью равна:

$$\vartheta_{\max} = \frac{15''}{T} = \frac{15}{1,82 \cdot 10^{-4}} = 82418 \text{ ''/с} = 23 \text{ }^\circ/\text{с.}$$

При этом:

$$\Omega_{\max} = \frac{\vartheta_{\max}}{K} = \frac{23}{0,3} = 77 \text{ }^\circ/\text{с.}$$

Для выполнения измерений с требуемой точностью при угловых скоростях  $\Omega > 77$   $^\circ/\text{с}$  нужен принципиально иной метод съема и обработки информации.

В настоящей работе предлагается определять мгновенные значения угла поворота  $\theta(t)$  стоячей волны относительно резонатора и, соответственно, угла поворота  $\alpha(t)$  гироскопа относительно ИСО по набору (вектору) мгновенных значений емкостей  $C_i(t)$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) конденсаторов, образованных восемью чувствительными элементами (ЧЭ) и металлическим покрытием поверхности кварцевого стекла резонатора.

Емкость для каждого ЧЭ вычисляется как емкость конденсатора, расстояние между обкладками которого изменяется от точки к точке. В этом случае можно использовать формулу

$$C_i(t) = \varepsilon_0 \varepsilon \int_{\varphi_{i1}}^{\varphi_{i2}} \frac{br_1 d\varphi}{r_2(t, \varphi) - r_1}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная, равная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость (для вакуума  $\varepsilon = 1$ );  $b$  – ширина ЧЭ (размер в направлении оси резонатора);  $r_1$  – расстояние от оси резонатора до поверхности ЧЭ;  $r_2(t, \varphi)$  – расстояние от оси резонатора до поверхности металлического покрытия на кварцевом стекле резонатора. Если угловую координату  $\varphi$  середины первого ЧЭ принять за нуль, то пределы интегрирования  $\varphi_{i1}, \varphi_{i2}$  для первого ЧЭ составляют от  $-\frac{\pi}{8} + \frac{\varphi_{\text{заз}}}{2}$  до  $\frac{\pi}{8} - \frac{\varphi_{\text{заз}}}{2}$ , для второго – от  $\frac{\pi}{8} + \frac{\varphi_{\text{заз}}}{2}$  до  $\frac{3\pi}{8} - \frac{\varphi_{\text{заз}}}{2}$  и т. д. ( $\varphi_{\text{заз}}$  – угловой размер зазора между ЧЭ).

Поскольку  $r_2(t, \varphi) = r_0 + A \cos(2\varphi - 2\theta(t)) \sin \omega t$ , то:

$$r_2(t, \varphi) - r_1 = d_0 + A \cos(2\varphi - 2\theta(t)) \sin \omega t, \quad (2)$$

где  $r_0$  – расстояние от оси резонатора до поверхности металлического покрытия в отсутствие колебаний;  $A$  – амплитуда колебаний в пучности;  $\omega$  – циклическая частота колебаний резонатора;  $d_0 = r_0 - r_1$ . Подстановка (2) в (1) дает:

$$C_i(t) = \varepsilon_0 \varepsilon \int_{\varphi_{i1}}^{\varphi_{i2}} \frac{br_1 d\varphi}{d_0 + A \cos(2\varphi - 2\theta(t)) \sin \omega t}.$$

Данный интеграл берется в элементарных функциях. Если функция  $\text{tg}(\varphi - \theta(t))$  непрерывна на промежутке  $\varphi_{i1} \leq \varphi \leq \varphi_{i2}$  и  $\sin \omega t \neq 0$ , то:

$$\begin{aligned} C_i(t) &= \frac{\varepsilon_0 \varepsilon br_1}{\sqrt{d_0^2 - A^2 \sin^2 \omega t}} \left( \arctg \frac{(d_0 - A \sin \omega t) \text{tg}(\varphi_{i2} - \theta(t))}{\sqrt{d_0^2 - A^2 \sin^2 \omega t}} - \right. \\ &\quad \left. - \arctg \frac{(d_0 - A \sin \omega t) \text{tg}(\varphi_{i1} - \theta(t))}{\sqrt{d_0^2 - A^2 \sin^2 \omega t}} \right) = \quad (3) \\ &= p(t) \{ \arctg[q(t) \text{tg}(\varphi_{i2} - \theta(t))] - \arctg[q(t) \text{tg}(\varphi_{i1} - \theta(t))] \}, \end{aligned}$$

где  $p(t) = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \delta^2 \sin^2 \omega t}}$ ;  $q(t) = \frac{1 - \delta \sin \omega t}{\sqrt{1 - \delta^2 \sin^2 \omega t}}$ ;  $C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon b r_1}{d_0}$ ;  $\delta = \frac{A}{d_0}$ .

Условие непрерывности функции  $\text{tg}(\varphi - \theta(t))$  на промежутке  $\varphi_{i1} \leq \varphi \leq \varphi_{i2}$  выполняется для шести из восьми ЧЭ. Измеряя для каждого из этих ЧЭ значения  $C_i(t)$  в моменты времени, когда  $\sin \omega t \neq 0$ , и решая шесть уравнений вида (3) относительно неизвестного  $\theta(t)$ , можно получить шесть значений  $\theta(t)$ . Для идеального гироскопа все эти шесть значений должны быть одинаковыми, а для реального они могут отличаться друг от друга. В качестве значения  $\theta(t)$  берется среднее арифметическое шести значений.

Уравнение (3) решается численно. Метод касательных приводит к рекуррентной формуле:

$$\theta_{n+1} = \theta_n - \frac{f(\theta_n)}{f'(\theta_n)},$$

где

$$f(\theta_n) = p(t) \{ \arctg[q(t) \text{tg}(\varphi_{i2} - \theta_n)] - \arctg[q(t) \text{tg}(\varphi_{i1} - \theta_n)] \} - C_i(t),$$

$$f'(\theta_n) = p(t)q(t) \left( \frac{1}{\cos^2(\varphi_{i1} - \theta_n) + q^2(t) \sin^2(\varphi_{i1} - \theta_n)} - \frac{1}{\cos^2(\varphi_{i2} - \theta_n) + q^2(t) \sin^2(\varphi_{i2} - \theta_n)} \right),$$

Для каждого ЧЭ должны быть известны значения параметров  $C_0$ ,  $\delta$ ,  $\varphi_{i1}$ ,  $\varphi_{i2}$ . Эти значения могут быть найдены как точка минимума функции:

$$g(C_0, \delta, \varphi_{i1}, \varphi_{i2}) = \left[ \frac{C_0}{\sqrt{1 - \delta^2 \sin^2 \omega t}} \left( \arctg \frac{(1 - \delta \sin \omega t) \text{tg}(\varphi_{i2} - \theta)}{\sqrt{1 - \delta^2 \sin^2 \omega t}} - \arctg \frac{(1 - \delta \sin \omega t) \text{tg}(\varphi_{i1} - \theta)}{\sqrt{1 - \delta^2 \sin^2 \omega t}} \right) - C_i(t) \right]^2$$

в четырехмерном пространстве параметров при заданном значении  $\theta$ , при котором функция  $\text{tg}(\varphi - \theta)$  непрерывна на промежутке

$\varphi_{i1} \leq \varphi \leq \varphi_{i2}$ , и измеренном значении  $C_i(t)$  в момент времени, когда  $\sin \omega t \neq 0$ . Поиск точки минимума может быть проведен методом градиентного спуска.

### **Выводы**

1. При больших угловых скоростях вращения гироскопа (выше  $77^\circ/\text{с}$ ) достижение точности  $15''$  измерения угла  $\theta(t)$  теоретически невозможно при использовании способа обработки информации, основанного на определении углового положения узлов и пучностей стоячей волны относительно резонатора по амплитуде колебаний, поскольку минимальное время  $\Delta t = t_{j+1} - t_j$  между отсчетами  $\theta(t_j)$  ограничено периодом колебаний резонатора. Способ, предлагаемый в настоящей работе, основан на определении углового положения узлов и пучностей стоячей волны относительно резонатора по мгновенным рельефам поверхности резонатора. Минимальное время между отсчетами ограничено не периодом колебаний резонатора, а периодом колебаний электрического сигнала, используемого для измерения емкости. Учитывая, что несущая частота электрического сигнала на два порядка выше частоты колебаний резонатора, можно утверждать, что в предлагаемом способе отсчеты  $\theta(t_j)$  можно делать в сто раз чаще.

2. Увеличение частоты отсчетов позволяет повысить точность измерений угла поворота  $\theta(t)$  не только при высоких скоростях вращения твердотельного волнового гироскопа относительно ИСО, но также и в статическом режиме посредством использования методов корреляционного анализа. Действительно, в силу инерционных свойств материальных тел функция  $\theta(t)$  непрерывна. Всякие скачкообразные изменения этой функции происходят лишь по причине случайных шумовых погрешностей различной природы. Методы корреляционного анализа позволяют подавить шумы и повысить точность, причем точность будет тем выше, чем больше значений  $\theta(t_j)$  подвергается обработке методами корреляционного анализа.

### **Список литературы**

1. Лунин, Б. С. Физико-химические основы разработки полусферических резонаторов волновых твердотельных гироскопов. – М. : Изд-во МАИ, 2005. – 224 с.
2. Матвеев, В. А. Гироскоп – это просто. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 191 с.

## **About Hemispherical Resonator Gyro Precision**

**Abstract.** *New method of pickup and processing of information raising measurement precision of rotation angle by hemispherical resonator gyro is considered in the paper.*

**Keywords:** hemispherical, resonator, gyro.

*А. С. Беляев*, магистрант  
E-mail: belyaewas@mail.ru  
*А. Р. Пантюхин*, магистрант  
E-mail: sanyarantyukhin@gmail.com  
*Т. В. Александрова*, ст. преподаватель  
E-mail: tata09@mail.ru

Национально-исследовательский томский политехнический университет

## **Использование системы на кристалле для управления роботами**

*В данной работе описаны 2 системы управления роботами на основе системы на кристалле с программируемой логикой. Получена система построения карты лабиринта и движения до определенной координаты для мобильного робота и перестраиваемый ПИД-регулятор для стабилизации курса квадрокоптера. Применение системы на кристалле для данных задач повышает быстродействие системы и упрощает задачи разработчика.*

**Ключевые слова:** робот, система на кристалле, ПЛИС, мобильный робот, квадрокоптер, система управления.

### **Введение**

В настоящее время робототехника набирает все большее распространение как в России, так и в мире. Современный робот – это многофункциональная система, в состав которой входит, электроника, для управления двигателями, компьютерное зрение, различные датчики, контроллеры, системы искусственного интеллекта и многое другое. Для систем компьютерного зрения все чаще применяют одноплатные компьютеры и библиотеки компьютерного зрения с возможностью распараллеливания обработки изображения, однако одноплатные компьютеры не имеют возможность обрабатывать сигналы в режиме реального времени, а для обеспечения необходимого быстродействия нужны высокие вычислительные мощности. Выходом из сложившейся ситуации стало применение технологии ПЛИС для обработки изображения. Одним из вариантов применения стало использование стабилизации изображения в камере GoPro. Но ПЛИС можно применять и для других целей, например управление двигателями, управление и сбор данных с датчиков и другое. Поэтому применение систем на кристалле для управления различными роботами имеет место.



Среди различных интеллектуальных методов управления все большее развитие получают методы обучения с подкреплением или Q-learning, обеспечивающие возможность обучения без учителя и до обучения системы в режиме реального времени. Применение данного метода нашло широкое применение для задач робототехники, автоматизации, космической промышленности. Например, применение для задачи навигации [1] или для задачи управления адаптивной подвеской [2], для обучения навигации марсохода в условиях неоднородной среды [3], и многие другие работы, показывающие эффективность данного метода для задач робототехники.

Рассмотрим возможность применения систем на кристалле для некоторых задач.

### **Решение задачи движения мобильного робота по лабиринту**

Для движения робота по лабиринту из одной точки в другую необходимо решить задачу локальной навигации и глобальной навигации. Под локальной навигацией для данной задачи понимается движение в данный момент времени в лабиринте, а под глобальной навигацией понимается задача перемещения. Для движения в лабиринте необходимо реализовать движение вдоль стены, чтобы робот не сбивался с назначенного курса, для этого применяют П-регулятор, работающий по ошибке между значением дальномера (определяющим расстояние до стенки) и идеальным значением заданным пользователем. Система определяет значения и подает ее на двигатели.

Для решения задачи глобальной навигации необходимо определить координаты с GPS и наикратчайший путь, однако проблема того, что робот не имеет карты лабиринта, несколько усложняет задачу. Поэтому робот должен определить, по сенсорной системе роботов, куда он может двигаться, а после спрогнозировать, по какому направлению наиболее выгодно двигаться, то есть решить задачу прогнозирования пути. Решить данную задачу можно построением карты местности в режиме реального времени, однако необходимо также успевать определять координаты с датчиков и принимать решение, куда и как двигаться. Решение всех этих задач в последовательном режиме приводит к уменьшению быстродействия системы. Однако применение системы на кристалле, с разнесением некоторых задач на разные подблоки кристалла, значительно увеличивает быстродействие. Например, задача построения карты и записи ее в память может быть реализована с помощью программируемой логики и аппаратного блока общения с внешней памятью. Задача движения также может быть передана подсистеме программированной логики. В результате получается следующая структура системы, представленная на рис. 1.

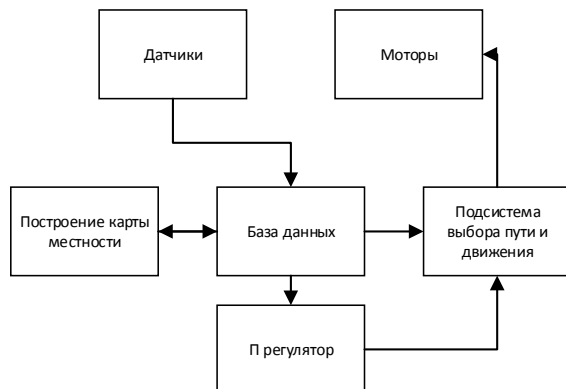


Рис. 1. Система движения мобильного робота

### Решение задачи навигации квадрокоптера на основе данных с GPS

Задача навигации квадрокоптера – это в первую очередь задача стабилизации полета, для решения которой применяют ПИД-регулятор, работающий со значениями датчиков, установленных на борту. Система вычисляет ошибку между текущим значением и идеальным значением и на основе этой информации задает мощности двигателей, что приводит к стабилизации квадрокоптера. Настройка коэффициентов ПИД-регулятора обычно занимает большое количество времени, если требуется достаточно высокое качество стабилизации. Использование методов искусственного интеллекта и перестраиваемого регулятора, построенного на ПЛИС, можно построить автоматически настраиваемый ПИД-регулятор. На рис. 2 представлена схема работы системы.

Данные о результатах обучения записываются в память, как и значения коэффициентов, а система подбирает значения, пока не получит значения с необходимой точностью стабилизации. Плюсы данного метода в том, что при изменении условий система начнет искать новое значение коэффициентов в области, близкой к старому значению. В результате если произошли не серьезные изменения, система сможет получить желаемую точность стабилизации за короткое время. Если же условия изменились сильно, то система фактически переобучится заново. Единственной проблемой стоит реализация подсистемы выбора действия, которая решает, какое действие принимать в той или иной ситуации, условия минимальной заданной ошибки, высота полета, так как нельзя позволить квадрокоптеру удариться об землю.

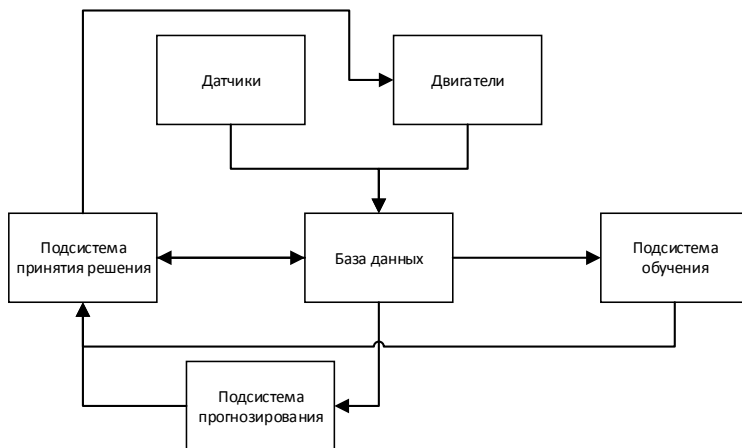


Рис. 2. Блок-схема системы

Плюсом реализации обучения с подкреплением на системе на кристалле является то, что все необходимые компоненты уже имеются в составе чипа. Например, внешняя память, в которую записывается база данных системы. В системах на кристалле данная функция реализована аппаратно, что уменьшает нагрузку на процессор и увеличивает скорость вычисления основных операций. Эта возможность позволяет с помощью заранее созданной модели квадрокоптера получить значения коэффициентов ПИД-регулятора, записать всю информацию в файл и загрузить его на флэш-карту. После того как информация поступит в систему, она будет использовать ее для управления квадрокоптером.

Основные интерфейсы, реализованные на чипе, позволяют обрабатывать самые различные датчики и устройства, а система ПЛИС позволяет сформировать структуры, необходимые для обучения с подкреплением, например структуру обработки информации в виде нейронных сетей, обработка которых не будет затрагивать ресурсы процессора.

### Результаты

Для первой задачи был получен маршрут навигации по сложному лабиринту, рис. 3. На рисунке красной точкой обозначена точка старта, оранжевой – точка финиша, а зеленая точка – точка разворота, в которой понимает, что путь, выбранный им, не приведет ни к чему, и разворачивается.

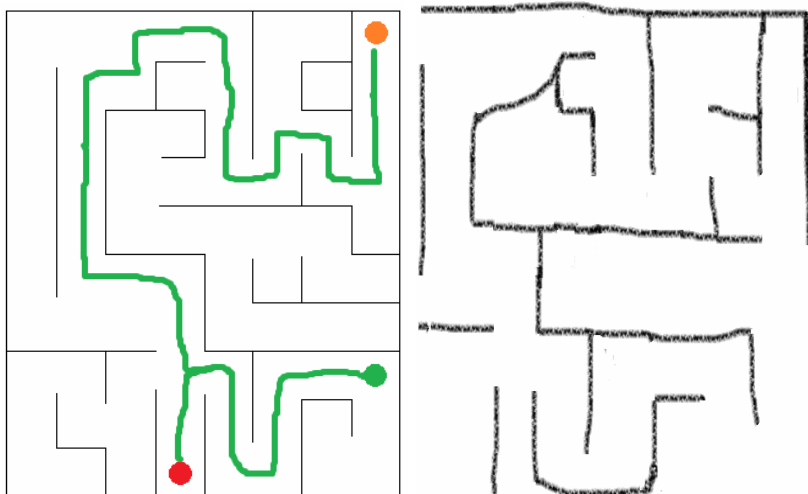


Рис. 3. Движение робота по лабиринту и полученная схема лабиринта

Полученная схема лабиринта не очень точная, поскольку основывается исключительно на дальномерах. В дальнейшем данный блок системы будет доработан.

Для второй задачи разработан алгоритм, который автоматически определяет значения коэффициентов ПИД-регулятора.

### Выводы

Разработанные системы управления показывают требуемые характеристики по точности и быстродействию, благодаря применению системы на кристалле. Применение системы на ряду с ПЛИС показало свою эффективность для реализации метода обучения с подкреплением.

### Список литературы

1. *Wu, H.* A new navigation method based on reinforcement learning and rough sets / H. Wu, S. Liu and J. Liu // Learn. Cybern, 2008, Vol. 2, pp. 12–15.
2. *Жданов, А. А.* AdCAS – система автономного адаптивного управления активной подвеской автомобиля / А. А. Жданов, Д. Б. Липкевич // Труды института системного программирования РАН. – Т. 7. – С. 119–160.
3. *Huntsberger, T.* Onboard // in 2009 eccis symposium on advanced technologies for enhanced quality of life: lab-rs and artiped, 2009, pp. 152–157.
4. Libero SoC v11.5 Users Guide [Электронный ресурс] // Microsemi [Сайт]. – URL: [http://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/135515-libero-soc-v11-5-user-guide/](http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/135515-libero-soc-v11-5-user-guide/) (дата обращения: 03.11.2015).

## Using SOC for robot control

***Abstract.** This paper describes robot control systems based on the SOC with programmable logic. The system of constructing the maze map and movement to a certain position for mobile robot is developed. Stabilization of the quadrocopter is based on tunable PID. Using the SOC systems for these tasks improves performance and simplifies developer's tasks.*

**Keywords:** robot, system-on-chip, FPGA, mobile robot, quadrocopter, control system.

А. Г. Злобина, аспирант

E-mail: ELF54@yandex.ru

О. М. Немцова, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

E-mail: olganemtsova@nm.ru

ФГБУН «Физико-технический институт УрО РАН», г. Ижевск

## **Влияние методики площадного электропрофилеирования на точность восстановления границы погребенного объекта**

*Рассмотрено влияние методики площадного электропрофилеирования (разный шаг измерений, расположение границы объекта вдоль измерительной сетки и под углом к ней, несовпадение границы объекта с измерительной сеткой) на точность восстановления границы погребенного в грунт объекта методом нечеткой кластеризации. Для модельного эксперимента получены численные оценки.*

**Ключевые слова:** электропрофилеирование, дипольная экваториальная установка, граница объекта, оценка погрешности, нечеткая кластеризация.

### **Введение**

Эффективной методикой изучения приповерхностных слоев грунта и поиска в нем погребенных объектов является площадное электропрофилеирование (ЭП), которое заключается в оценке распределения кажущегося удельного сопротивления грунта на участке исследований.

### **Методика электропрофилеирования**

Методика ЭП предполагает измерение кажущегося сопротивления (КС) вдоль заданных условных параллельных линий (профилей) с помощью установок постоянного размера. *Шаг измерений* по профилю, то есть расстояние, на которое сдвигается установка, обычно выбирается равным *разносу* установки  $a$  (расстояние между питающими электродами, через которые вводится ток в грунт). При площадных исследованиях в качестве измерительной установки используются дипольную экваториальную установку, электроды которой устанавливаются по регулярной квадратной сетке в узлах ячейки  $a \times a$ , и при каждом сдвиге установки соответствующие ячейки не имеют пересечений друг с другом по площади. Таким образом, исследуемый участок покрывается *равномерной непересекающейся сеткой измере-*

ний, дискретность которой будет влиять на точность восстановления границы объекта поиска.

По принятой методике ЭП глубина исследования остается постоянной, что позволяет изучать изменения электрических свойств грунта на некоторой эффективной глубине исследования [1]. Под этой глубиной понимается глубина проникновения основной части электрического тока, в наибольшей степени влияющая на результат измерений. Для дипольной экваториальной установки эффективная глубина близка к  $a/2$  [2]. Таким образом, при ЭП глубинность исследования пропорциональна разному установки и, соответственно, шагу измерений.

Перемещение установки вдоль выбранной равномерной непересекающейся сетки с постоянным шагом позволяет сформировать массив значений кажущегося сопротивления, расположение элементов которого соответствует взаимному расположению точек измерений. Графическая визуализация полученных данных делает возможным наглядно оценить распределение КС в пределах исследуемой области. Поскольку объекты поиска отличаются по своим электрическим свойствам от вмещающего их грунта, то они проявляются на изображениях значений КС как аномалии относительно фоновых значений.

### **Восстановление границы методом нечеткой кластеризации**

Одной из задач, возникающих при интерпретации результатов электропрофилирования, является соотнесение выделенных аномалий с объектами поиска и определение границ объекта с требуемой точностью. Эту задачу можно рассматривать как задачу классификации, поскольку необходимо каждый элемент массива данных отнести либо в класс «Объект», либо в класс «Фон». При этом граничные точки, принадлежащие к классу «Объект», определяют возможную границу объекта поиска.

В связи с этим для выделения аномалии и определения границы объекта целесообразно применять метод нечеткой кластеризации. Особенность метода нечеткой кластеризации состоит в том, что каждый элемент данных может принадлежать к выделяемым классам с различной степенью принадлежности. Присвоение элемента данных к конкретному классу осуществляется путем сравнения его степени принадлежности с пороговым значением –  *$\alpha$ -сечением*. В ходе моделирования установлено, что для случая электропрофилирования дипольной экваториальной установкой однородной среды, содержащей псевдотрехмерные объекты в виде прямоугольных призм, при выборе значения  *$\alpha$ -сечения* равным 0,5–0,8 максимальное абсолютное отклонение восстановленного контура границы объекта от истинного не превышает половины шага измерений [3].

### Площадная оценка точности восстановления границы объекта

Поскольку при электропрофилировании местоположение объекта в грунте заранее неизвестно, то выбранная сетка измерений может быть расположена произвольным образом относительно границ объекта. При проведении измерений с учетом различных вариантов ее расположения (рис. 1, а–г) есть возможность сформировать несколько непересекающихся массивов данных, отражающих изменение электрических свойств грунта на одной и той же глубине исследования. Таким образом, по измеренным значениям КС для каждого варианта расположения сетки можно методом нечеткой кластеризации восстановить форму предполагаемого погребенного объекта в горизонтальном разрезе, фактически представляющую собой многоугольник  $M_i$ . При этом его граница определит возможную границу объекта поиска. С помощью геометрического наложения полученных границ строится область наиболее вероятного расположения истинной границы объекта. Данная область представляет собой разность объединения и пересечения всех многоугольников  $M_i$  и определяет «коридор ошибки» (рис. 1, д), за пределы которого вне зависимости от варианта расположения сетки не отклоняется ни одна из построенных границ.

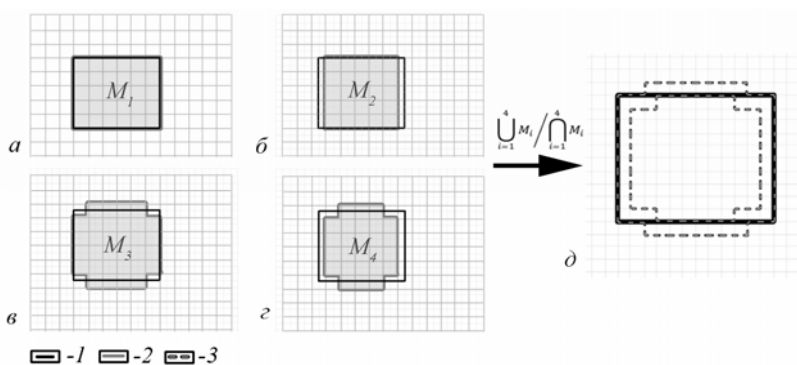


Рис. 1. Вариант расположения сетки измерений при  $a = 1$ : без сдвига (а); со сдвигом в горизонтальном направлении (б); со сдвигом в вертикальном направлении (в); со сдвигом в обоих направлениях и построение «коридора ошибки» (д); 1 – истинная граница; 2 – восстановленная граница; 3 – контур коридора ошибки

Для того чтобы оценить соотношение площади «коридор ошибки» и истинной границы, поставим в соответствие каждому элементарному отрезку ее длины площадь прилегающей элементарной ячейки. Таким образом, истинной границе объекта будет соответствовать набор эле-



ментарных ячеек, площадь которых в дальнейшем будем называть *площадью границы объекта поиска*.

В качестве площадной оценки «коридора ошибки» предложен следующий параметр  $\delta$ :

$$\delta = \frac{\delta_k}{k}, \quad \delta_k = \frac{|S_{\text{расч}} - S_{\text{мод}}|}{S_{\text{мод}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $S_{\text{мод}}$  – площадь границы объекта поиска;  $S_{\text{расч}}$  – площадь «коридора ошибки»;  $k$  – нормировочный коэффициент. При разном шаге измерений значения параметра  $\delta_k$  без нормировки не соотносимы между собой, поскольку усреднение значений КС проходит по разной площади установки  $a^2$ . Поэтому относительно минимальной из рассматриваемых площадей установки ( $a_{\text{мин}}^2$ ), коэффициент  $k$  определим как  $a^2/a_{\text{мин}}^2$ . Фактически параметр  $\delta$  является относительной ошибкой площади границы объекта и принимает значения в диапазоне [0 %; 100 %], при этом, чем больше его значение, тем шире «коридор ошибки».

### Численные оценки для модельного эксперимента

Для получения численных оценок точности восстановления границы объекта использовались данные, полученные в результате моделирования прямой задачи электроразведки для однородной среды, содержащей псевдотрехмерные объекты, полученные с помощью программы Res3dmod (Geotomo Software) для случая площадного электропрофилирования дипольной экваториальной установкой.

В качестве моделей выбраны прямоугольные призмы с различными основаниями (рис. 3) и глубиной залегания от 0,45 до 1,10 м. Дискретность сетки электродов составила 0,5 м (*элементарный шаг*), элементарная ячейка – 0,5×0,5 м.

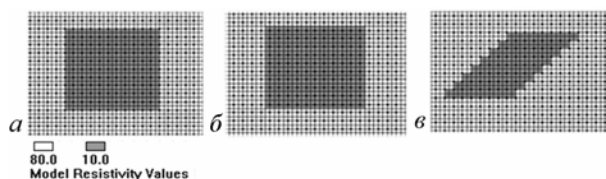


Рис. 3. Горизонтальные сечения модельных объектов: Призма 1 (а); Призма 2 (б); Призма 3 (в)

Линейные участки истинной границы объекта «Призма 1» расположены вдоль линий сетки электродов (рис. 3, *a*), у объекта «Призма 2» – между ними (рис. 1, *б*), «Призма 3» моделирует ситуацию – наклонная призма (рис. 1, *в*). Шаг измерений (1 м, 1,5 м, 2 м) при проведении ЭП выбран в соответствии с диапазоном глубин залегания объектов поиска.

Численные значения параметра  $\delta$ , вычисленные по формуле (1) для модельных объектов при разных шагах измерений ( $a_{\min} = 1$  м), разным взаимном расположении границы и сетки приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Значение параметра  $\delta$  для модельных объектов**

| Модель   | Площадь границы объекта, м <sup>2</sup> | $a$ , м | Площадь «коридора ошибки», м <sup>2</sup> | $\delta$ |
|----------|---|---------|---|----------|
| Призма 1 | 10,5                                    | 1       | 9,5                                       | 10 %     |
|          |   | 1,5     | 21  | 44 %     |
|          |   | 2       | 34,5                                      | 57 %     |
| Призма 2 | 10,5                                    | 1       | 10,5                                      | 0 %      |
|          |   | 1,5     | 23,25                                     | 54 %     |
|          |   | 2       | 34  | 56 %     |
| Призма 3 | 11,5                                    | 1       | 11,5                                      | 0 %      |
|          |   | 1,5     | 22,5                                      | 43 %     |
|          |   | 2       | 35,75                                     | 53 %     |

Таким образом, компьютерный эксперимент показал, что только при  $a = 1$  м приведенная относительная ошибка площади границы объекта не превышает допустимую погрешность в 68 % (одна  $\sigma$ ). Поэтому традиционная методика ЭП при увеличении шага измерений не позволяет получать достоверные (ошибка превышает  $1 - \sigma = 32$  %) результаты поиска границы объекта.

### **Методика ЭП с минимальным шагом измерений при разных разностях установки**

Чтобы восстановить границу объекта на больших глубинах поиска с требуемой точностью, предлагаем применять другую методику измерений при площадном электропрофилировании. Данная методика заключается в том, чтобы при разном разnose установки (равном  $a$ ) исследуемый участок покрывался равномерной пересекающейся сеткой измерений, дискретность которой равна минимальному шагу (элементарному шагу). В соответствии с выбранной сеткой измерений рассчитанный массив данных с большей дискретностью характеризует изменение электрических свойств грунта на соответствующей глубине поиска. Фактически, сформированный массив данных – это слияние всех массивов, полученных при проведении измерений традиционной ме-

тодикой ЭП с шагом  $a$  и с учетом различных вариантов расположения сетки измерений. Методом нечеткой кластеризации определяем границу объекта поиска. Приняв за площадь «коридора ошибки» площадь восстановленной границы, для оценки точности результата предложенной методики также применим формулу (1). Численные значения параметра  $\delta$  для модельных объектов при разных разносах установки  $a$  и при одинаковом шаге измерений (0,5 м) приведены в табл. 2.

*Таблица 2. Значение параметра  $\delta$  для модельных объектов*

| Модель   | Площадь границы объекта, м <sup>2</sup> | $a$ , м | Площадь восстановленной границы, м <sup>2</sup> | $\delta$ |
|----------|---|---------|---|----------|
| Призма 1 | 10,5                                    | 1       | 10,5  | 0 %      |
|          |   | 1,5     | 10,5  | 0 %      |
|          |   | 2       | 10,5  | 0 %      |
| Призма 2 | 10,5                                    | 1       | 10,5  | 0 %      |
|          |   | 1,5     | 10,5  | 0 %      |
|          |   | 2       | 10,5  | 0 %      |
| Призма 3 | 11,5                                    | 1       | 11,5  | 0 %      |
|          |   | 1,5     | 11,5  | 0 %      |
|          |   | 2       | 9,75  | 4 %      |

Полученные результаты компьютерного моделирования показывают, что при использовании пересекающейся сетки измерений относительная ошибка площади границы объекта не превышает допустимую погрешность в 68 % (одна  $\sigma$ ).

### **Заключение**

С помощью результатов обработки модельных данных показано, что традиционная методика проведения площадного электропрофилеирования (шаг измерений равен разносу установки) применима только для выявления самого объекта. При шаге измерений, большем 1 м, нельзя получить достоверные результаты определения границ погребенного в грунт объекта (ошибка превышает  $1 - \sigma = 32$  %). Использование равномерной пересекающейся сетки измерений обеспечивает восстановление границы с требуемой точностью при разном разносе установки (соответственно, на разных глубинах поиска), для всевозможного расположения границы объекта по отношению к сетке измерений. Ошибка определения границы не превосходит значение допустимой погрешности в 68 % (одна  $\sigma$ ).

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-06-04239а.*

### Список литературы

1. Электроразведка : учебное пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей / под ред. проф. В. К. Хмелевского, доц. И. Н. Модина, доц. А. Г. Яковлева. – М. : МГУ им. Ломоносова, геологический факультет, 2005. – 311 с.
2. Loke, M. H. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. – 2003. – 129 p.
3. Злобина, А. Г. Восстановление границы объекта по данным малоглубинной электроразведки методом нечёткой кластеризации / А. Г. Злобина, И. В. Журбин // Геоинформатика. – 2015. – № 3. – С. 19–25.

### The effect of a technique of areal electric profiling on the accuracy of the restoration of the border of the buried objects

**Abstract.** *The effect of a technique of areal electric profiling (different measurement interval, location of border of object along a measuring grid and at an angle to it, coincidence of border of object to a measuring grid) on the accuracy of restoration of border by method of fuzzy clustering is considered. The numerical estimates are received for model experiment.*

**Keywords:** electric profiling, equatorial dipole layout, border of object, error estimation, fuzzy clustering.

С. Н. Ларин, канд. техн. наук, доц., нач. произв. участка  
E-mail: larinmars@rambler.ru

С. А. Карпаев, аспирант, инженер по АСУП  
E-mail: neonix3000@mail.ru

Ульяновский государственный технический университет  
ФНПЦ АО «НПО «Марс», г. Ульяновск

## **Модель управления потоками задач в оперативно-производственном планировании многономенклатурного предприятия**

*В статье предлагается и описывается комплексный подход по распределению производственных задач на предприятии с различной загрузкой рабочих центров в рамках оперативно-производственного планирования многономенклатурного производства. На основе предложенного подхода распределения потоков задач загрузки оборудования описана модель и проведены исследования, приводящие к организационным предпосылкам совершенствования производственного процесса.*

**Ключевые слова:** распределение потоков задач, оптимизация производственных процессов, автоматизированная система, оперативно-производственное планирование, производство.

### **Введение**

В настоящее время эффективность промышленных предприятий зависит в значительной степени от уровня интеграции автоматизированных систем (АС) и систем автоматизированного проектирования на всем протяжении жизненного цикла изготавливаемых технических средств (ТС), а также от оптимального формирования производственно-тематических планов (ПТП) работ, управления потоками работ и управления производственными циклами.

Одной из базовых составляющих АС оперативно-производственного планирования (ОКП) производства является планирование использования средств производства и трудовых ресурсов предприятия, а также расчет равномерной загрузки трудовых ресурсов и площадей, выстраивание выполнения заказов таким образом, чтобы задания между цехами, участками, рабочими центрами сочетались с минимальными количествами простоев во время настройки и подготовки к работе,

исключив диспропорции при выполнении задач на разных стадиях изготовления.

### Обзор методологий

В западных странах нашли широкое применение методологии планирования и управления ресурсами, такие как MPS, CRP, SIC, MRP, MRP II, CSRP. Все эти системы доведены до уровня стандартов и используются в различных крупных программных продуктах (Aplicor, Intacct, NetSuite, SAP, Workday, 1C: Предприятие, Галактика ERP, Microsoft Dynamics NAV, SAP ERP,). Методология MRP II имеет целью планирование всех ресурсов предприятия для реализации производственного плана: материалов, мощностей и финансовых средств [1]. На рис. 1 отражена общая схема методологии управления планированием ресурсов предприятия.



Рис. 1. Планирование производственных ресурсов MRP II

Процесс построения производственного плана сводится к нахождению возможных расписаний производственных работ на основе различных приоритетных правил и выделение из них наилучшего, согласно требуемым критериям [2]. Определение приоритетов осуществляется по выбранному алгоритму.

## Обзор алгоритмов

Согласно результатам большинства исследований, детерминированные задачи календарного планирования относятся к NP-трудным задачам упорядочения и носят комбинаторный характер [3]. Выбор лучшего варианта метода планирования осуществляется с помощью одного из четырех подходов: комбинаторного, математического программирования, эвристического и статистического моделирования.

Алгоритмы простого построения расписаний (без полного или частичного перебора вариантов) являются решающими эвристическими правилами и играют важную роль в прикладной теории расписаний. Основным прием эвристических алгоритмов – снижение требований, т. е. алгоритм строится таким образом, чтобы было найдено нехудшее решение за приемлемое время. Одним из самых распространенных вариантов реализации эволюционных алгоритмов являются генетические алгоритмы. Алгоритм использует аналогию между естественным отбором и процессом выбора наилучшего решения из множества возможных. Преимуществом таких алгоритмов перед другими является простота их реализации. Метод роящихся частиц (particle swarm) наиболее простой и один из самых молодых методов эволюционного программирования. Этот алгоритм благодаря своей простоте (менее десяти строк кода) и скорости считается очень перспективным для задач планирования.

Табуированный поиск (Tabu Search) представляет собой вариацию известного метода градиентного спуска с памятью. В процессе поиска ведется список запрещенных для перехода (т. е. табуированных) позиций из числа уже рассчитанных. Критическими параметрами алгоритма является ограниченный перечень запретов. В процессе поиска осуществляются операции включения в запрещенный список состояний вокруг текущего состояния, что добавляет фактор случайности в процесс поиска.

Многие задачи, связанные с формированием планов, связаны с поиском оптимального значения, где значение – это сложная функция, зависящая от многих входных параметров. Оптимизация многопараметрических функций – наиболее популярное приложение генетических алгоритмов. При формировании расписания некоторые параметры имеют случайный характер, что влияет на ход производства и исполнение плана.

В результате анализа существующих систем планирования выявлены следующие недостатки: разработанные модели не позволяют учитывать многие факторы, влияющие на весь процесс производства, который для разных предприятий индивидуален; использование только

математических методов ограничивается невозможностью быстрого реагирования на возникающие ситуации, требующие немедленной корректировки планов.

На основе анализа существующих разработок в области эволюционных методов лучшим решением сложных комбинаторных задач формирования ОКП является гибридное использование генетического и муравьиного алгоритмов, а также включение в расчеты наиболее успешных практик планирования и управления потоками задач в конкретных условиях производства ТС. Это позволит существенно улучшить систему планирования, тем самым сократив время получения приемлемых производственных расписаний.

Для развития систем планирования возможна разработка программного продукта, позволяющего строить производственные планы, используя инструменты эволюционных методов.

Для реализации систем планирования и повышения гибкости бизнес-процессов производства при минимальной его реорганизации необходимо придерживаться концепции «потенциал для изменений», которая получила отражение в Openframework. Концепция является частью технологии Workflow, которая рассматривается как модель, которая наводит мосты между бизнес-процессами и информацией.

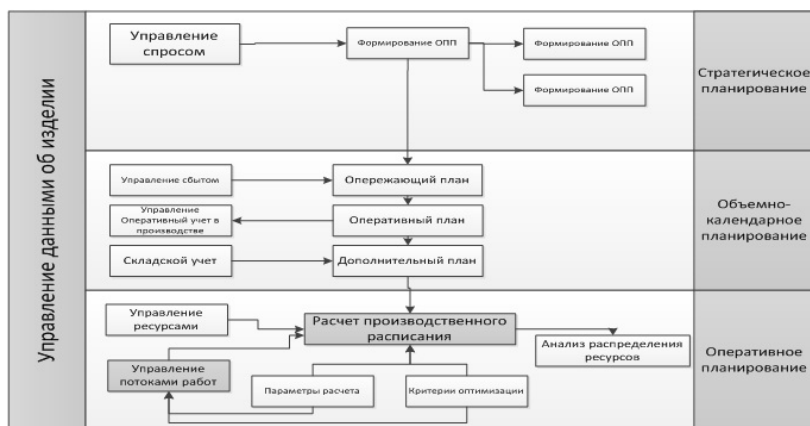


Рис. 2. Схема производственного планирования

На рис. 2 отражена роль Workflow «Управления потоками работ» в оперативном планировании. Блок «Расчет производственного расписания» представляет из себя алгоритм с использованием гибридного подхода.



### Модель распределения с обратной связью

Основным упором предлагаемого алгоритма по распределению задач служит анализ ранее выполнявшихся работ на каждом рабочем центре и формирование истории успешных опытов. По результатам анализа истории успешных практик автоматически принимается решение, куда направить работу. Например, если есть выбор распределения задачи на один из трех рабочих центров, то выбирается тот, где было больше успешно выполненных операций с хорошим исходом в краткие сроки выполнения.

Определяются параметры расчетов, критерии оптимизации – формируется производственное расписание. По результатам ежедневных (суточных) работ производится новый выпуск плана с учетом выполненных задач – строится новое производственное расписание. Ежедневные невыполненные работы переносятся на следующий план (т. е. сдвигается) и устанавливается более высший приоритет в зависимости от наличия других работ. Общая модель предлагаемого алгоритма представлена на рис. 3.

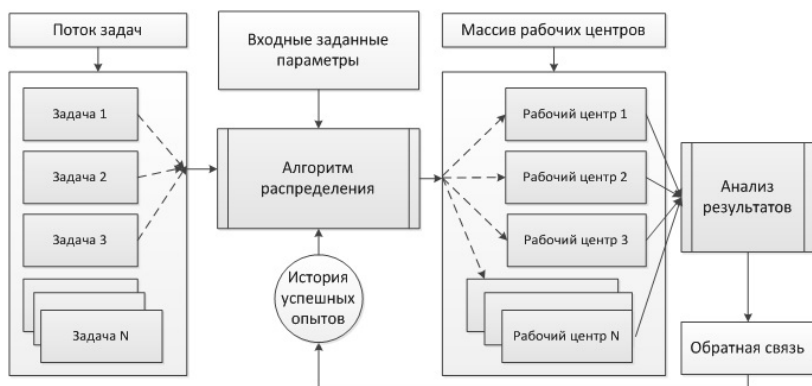


Рис. 3. Модель алгоритма распределения работ с обратной связью

Модель алгоритма распределения работ с обратной связью, представленная на рис. 3, отражает область автоматизированного формирования производственно-тематического плана (ПТП), которая использует множество внутренних связей объектов ОКП. Модель предметной области позволяет адекватно представить процесс формирования ПТП и в частном случае может являться базой знаний ОКП.

Модель разрабатываемой базы знаний ОКП имеет вид

$$O = \{P, R_{Ц}, C, T^P\}, \quad (1)$$

где  $P$  – множество разнородных мощностей производственной системы:  $\{p_1 \dots p_n | p_n \in P\}$ ;  $R_{Ц}$  – интегрированные, быстронастраиваемые рабочие центры;  $C$  – технологические связи между рабочими центрами;  $T^P$  – библиотека технологических решений. Здесь также следует отметить, что рабочие центры в модели распределения работ с обратной связью представлены в двух исполнениях, в виде технологической составляющей  $r_{tech}$  и в виде составной части производственной мощности  $P$ , т. е. в итоге имеем нижеследующее:

$$R_{Ц} \Leftrightarrow r_{tech} \in P. \quad (2)$$

Множество технологических решений можно представить как

$$T^P = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}, \quad (3)$$

где  $T$  – комбинация технологий, задействованных при изготовлении конкретной единицы ТС.

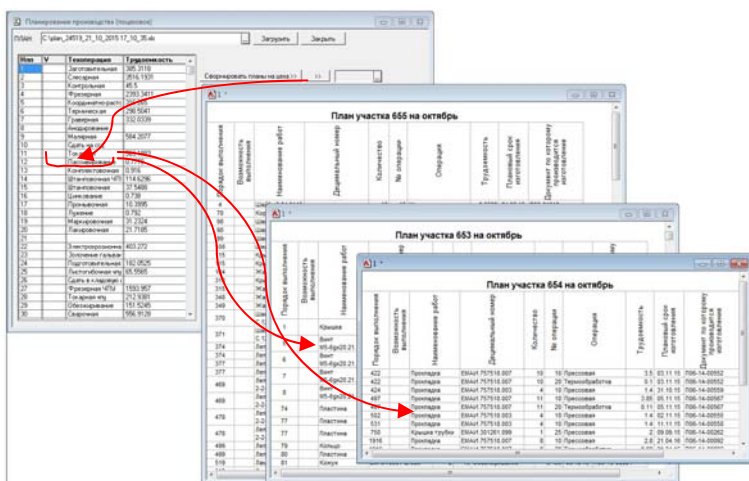


Рис. 4. Интерфейс формирования планов

Особенностью модели является механизм обратной связи, которой подает на вход блока «Алгоритма распределения» входные данные по рабочим центрам.

Алгоритм распределения формирования планов (с обратной связью) реализован и в настоящее время используется в программном

обеспечении планирования производства (на основе 1С: Предприятие). На рис. 4 показан пример формирования плана на участки с учетом использования механизма обратной связи и с учетом наиболее успешных практик выполнения ПТП.

### **Выводы**

В рамках работ по построению модели управления потоками задач в оперативно-производственном планировании многономенклатурного производства были проведены исследования возможностей существующих систем и предложен вариант, который учитывает дополнительные параметры и особенности изготовления изделий. Модель, которая предлагается в исследовании, является универсальной и может быть применена во всех отраслях производства, где требуется производить планирование распределения задач. При этом необходимо отметить, что для каждого конкретного предприятия база наиболее успешных практик будет настраиваться индивидуально. Таким образом, перспективной задачей ставится создание средств инструментальной поддержки наиболее эффективной адаптации успешных практик в реальнодействующую АС ОКП. Интеграция предложенной модели в существующие решения позволит более точно автоматизированным способом оценить и прогнозировать оперативно-производственный план промышленного предприятия.

### **Список литературы**

1. *Гаврилов, Д. А.* Управление производством на основе стандарта MRP II. – СПб. : Питер, 2003. – 345 с.
2. *Татевосов, К. Г.* Основы оперативно-производственного планирования на машиностроительном предприятии. – Л. : Машиностроение, 1985. – 278 с.
3. Workflow Glossary – Press Releasess [Электронный ресурс] // Artificial Intelligence Applications Institute [Сайт]. – URL: <http://www.aiai.ed.ac.uk/project/wfmc/ARCHIVE/pr.html> (дата обращения: 26.10.2015).

### **Model flow control tasks in operational production planning**

**Abstract.** *A comprehensive approach to the distribution of production tasks at the company working with different load centers within the operational and production planning is proposed and described in the article. The model based on the proposed algorithm for task distribution was described. The research activity creating the organizational prerequisites for improving the production process was carried out.*

**Keywords:** distribution of problem flows, optimization of production processes, the automated system, operational and production planning, production.

С. М. Мокрова, мл. науч. сотр.  
Р. П. Петров, вед. математик  
В. Н. Милич, канд. тех. наук, зав. отделом  
E-mail: lssm@ftiudm.ru

ФГБУН «Физико-технический институт УрО РАН», г. Ижевск

## Представление текстурных компонент металлов кубической системы в пространстве Родрига

*В статье сравниваются способы представления ориентаций кубических кристаллов углами Эйлера и векторами Родрига. Предложен алгоритм поиска ориентаций текстурных компонент с учетом симметрии кристаллов и образца. На примере полюсной фигуры камасита для плоскостей отражения {200} показаны преимущества отображения текстурных компонент в пространстве Родрига.*

**Ключевые слова:** прямая полюсная фигура, текстурные компоненты, симметрия, фундаментальная зона, углы Эйлера, вектор Родрига.

Результат производства поликристаллических изделий характеризуется их текстурой, которая описывается некоторым множеством преимущественных ориентаций кристаллов. При наличии выраженной текстуры возникает анизотропия свойств материала, от которой зависят физико-механические свойства изделий [1]. Поэтому задача анализа текстур имеет большое практическое значение.

Для того чтобы описать текстуру материала, необходимо определить объем зерен и их пространственное положение в объеме образца. Эта информация может быть получена по прямым полюсным фигурам (ППФ). При описании ориентаций наиболее часто используются углы Эйлера [1]. Положение кристалла определяется углами  $\varphi_1$ ,  $\Phi$ ,  $\varphi_2$ , где  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  изменяются в пределах  $[0, 360^\circ]$ , а  $\Phi - [0, 180^\circ]$ . Эти углы связывают системы координат образца и кристалла. В результате любая ориентация отображается точкой в Эйлеровом пространстве.

В силу симметрии кубического кристалла каждая ориентация имеет некоторое количество копий в ориентационном пространстве. Симметрия понижает размерность всего ориентационного пространства, необходимого для однозначного представления всех возможных ориентаций. Часть ориентационного пространства, внутри которой каждая ориентация описывается одной единственной точкой, называется фун-

даментальной зоной [2]. Причем размер фундаментальной зоны зависит как от симметрии кристалла, так и от симметрии образца. Кубические кристаллы имеют 6 осей симметрии второго порядка, 4 оси 3-го порядка и 3 оси 4-го порядка, т. е. 24 симметрично связанные ориентации. Каждая из этих ориентаций физически неразличима, хотя математически они различны.

Представление ориентаций углами Эйлера имеет ряд недостатков [2]. Во-первых, из-за использования в вычислениях осей 3-го порядка возникает трудность наглядного представления фундаментальной зоны, имеющей сложную форму. Поэтому используется часть ориентационного пространства размером  $90^\circ \times 90^\circ \times 90^\circ$ , которая называется элементарным кубом и содержит в себе все возможные ориентации. Причем эквивалентные ориентации трижды повторяются в этом элементарном кубе. Поэтому для отображения пространства Эйлера в литературе обычно приводится ряд сечений. Во-вторых, при  $\Phi = 0$  однозначность ориентационного пространства нарушается, и отдельная ориентация описывается не точкой, а линией.

Для устранения указанных недостатков предлагается другой способ представления ориентаций – вектор Родрига [2]. Из теоремы Эйлера [3] о конечных поворотах известно, что любое положение твердого тела с неподвижной точкой может быть получено из начального положения одним поворотом вокруг некоторой оси на некоторый угол. Вектор Родрига  $R$  определяется выражением

$$R = n * \tan(\theta/2), \quad (1)$$

где единичный вектор  $n$  определяет направление оси вращения, а длина вектора  $R$  равна тангенсу половинного угла вращения  $\theta$  [2].

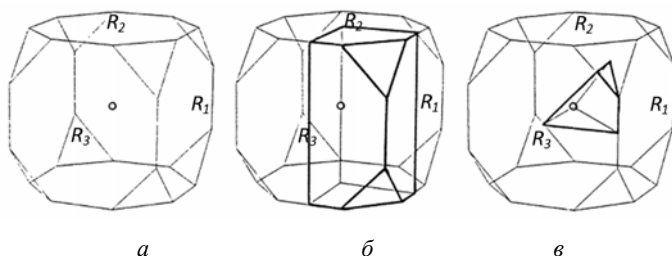


Рис. 1. Фундаментальная зона в пространстве Родрига для кубических решеток: образец без симметрии (а); орторомбический образец (б); кубический образец (в)

С помощью вектора Родрига можно однозначно представить каждую ориентацию. Единственное представление ориентации из множества эквивалентных ориентаций выбирается так, чтобы угол поворота был минимальный, и ось вращения находилась в области, определенной симметрией образца.

Чтобы проиллюстрировать это, на рис. 1 показаны три ориентационных пространства для кубических решеток в представлении Родрига [4], все вращения внутри которых представляются точками. В случае отсутствия симметрии образца фундаментальная зона в пространстве Родрига имеет вид усеченного куба (рис. 1, *a*). Размерность куба определяется из условия, что кубический кристалл не может быть повернут на угол более  $45^\circ$  вокруг осей  $\{100\}$  и  $\{010\}$  и  $\{001\}$  прежде, чем совпадет с эквивалентным вращением, идущем в обратном направлении. Поэтому  $R_1 = R_2 = R_3 = \tan(22,5^\circ) = \sqrt{2} - 1$ . Также невозможно повернуть кристалл на угол более  $60^\circ$  вокруг оси  $\{111\}$  до совпадения с эквивалентным положением кристалла. Это устанавливает ограничение вдоль этой оси, выраженное уравнением плоскости  $R_1 + R_2 + R_3 = 1$ . Максимальная длина вектора Родрига в фундаментальной зоне составляет  $\sqrt{23 - 16\sqrt{2}}$ , следовательно, максимальный угол равен  $62,8^\circ$ . Эта величина не зависит от симметрии образца. Если образец имеет некоторую симметрию, фундаментальная зона будет представлена частью всего ориентационного пространства. На рис. 1, *b* показана фундаментальная зона для образца с кубической симметрией. Рис. 1, *b* показывает фундаментальную зону для орторомбической симметрии образца. Это ориентационное пространство для текстур прокатки материалов с кубической решеткой.

Представление ориентации в пространстве Родрига обладает рядом достоинств [4]. Каждая ориентация уникальна. Основные текстурные компоненты хорошо объединяются в кластеры. Например, текстура волокна представляется в виде прямой линии. Также все ограничивающие поверхности фундаментальной зоны являются плоскостями, в отличие от пространства Эйлера, где поверхности изогнуты. Все эти свойства упрощают расчеты и визуальное восприятие текстурных компонент.

Таким образом, реализация алгоритма, предложенного в [5] с учетом отображения ориентаций в пространстве Родрига, позволяет определить все текстурные компоненты, для которых вычисляются:

- индексы Миллера;
- доля относительно общего количества ориентаций;
- направления осей кристаллов;

- углы Эйлера;
- ось и угол разориентации с системой координат образца;
- кластеризация текстурных компонент в пространстве Родрига.

Алгоритм реализуется следующей последовательностью действий. На полюсную фигуру накладывается сетка с шагом 1 градус. Каждому узлу сетки соответствует значение интенсивности на полюсной фигуре. Исходные данные представляются в виде массива, где для углов  $\alpha$  и  $\beta$  указаны целочисленные значения интенсивности. Углы  $\alpha$  и  $\beta$  соответствуют углам сетки на полюсной фигуре и изменяются  $[0, 90^\circ]$  и  $[0, 360^\circ]$  соответственно.

Для анализа полюсной фигуры строится ее трехмерное представление [5], где каждому узлу ставится в соответствие некоторое количество вокселей, связанное со значением интенсивности в узле. Далее строится полярный комплекс – объект, состоящий из набора векторов, являющихся нормальными к плоскостям отражения для заданной полюсной фигуры. Объект представлен в виде структуры с полями: количество полюсов для заданного семейства, координаты векторов. Также задается порог количества векторов с ненулевой интенсивностью, который используется для определения найденной ориентации.

Для всех углов Эйлера вычисляется матрица вращения, с помощью которой вектора объекта последовательно поворачиваются вокруг трех пространственных осей. Вычисляется новое местоположение векторов и их стереографические проекции, которые затем проверяются на совпадение с областями интенсивности на полюсной фигуре. Для каждой проекции вектора (полюса) на сетке полюсной фигуры выбирается узел, ближайший к ней, интенсивность которого присваивается вектору и используется для расчетов. Если заданное количество векторов имеет ненулевую плотность, ориентация считается найденной. Далее, используя операторы симметрии образца и кристалла, выбирается такое положение осей кристалла, чтобы угол разориентации между системой координат образца и кристалла был минимальный. Для выбранного положения осей кристалла вычисляется параметр, зависящий от уровня интенсивности в полюсах, относящихся к этой ориентации, и количества полюсов с ненулевой интенсивностью. По этому параметру производится сортировка найденных ориентаций. Параметр показывает достоверность ориентации. Из 3D-модели полюсной фигуры вычитаются воксели, соответствующие найденным ориентациям, пока множество вокселей не останется пустым.

С помощью разработанной программы была исследована полюсная фигура метеорита [6], состоящего из монокристаллов камасита,

имеющего г.ц.к-решетку. Полюсная фигура получена методом нейтронной дифракции для плоскостей отражения  $\{200\}$ .

Данная ПФ очень удобна для тестирования алгоритма, т. к. на ней ярко выражены текстурные компоненты, представленные острыми пиками. На полюсной фигуре можно выделить два вида полюсной плотности. Обширные и высокие пики интенсивности являются полюсами основного монокристалла. Небольшие пики относятся к двойникам, полученным путем зеркального отражения относительно плоскости  $\{211\}$ .

На рис. 2 приведена полюсная фигура для плоскостей отражения  $\{200\}$ , на которой обозначены текстурные компоненты. Номером 1 обозначена основная ориентация метеорита. Под номерами 2–5 – двойники.

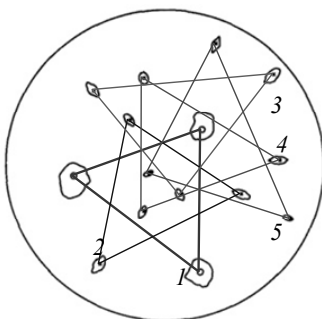


Рис. 2. Полюсная фигура  $\{200\}$  с выделенными текстурными компонентами

В результате анализа полюсной фигуры были найдены все 5 текстурных компонент. Построено пространство Родрига (рис. 3, а), в котором кластеры текстурных компонент выделены темным цветом, а их проекции показаны на координатных плоскостях серым цветом. Вычисленные для каждой текстурной компоненты показатели приведены в таблице. На рис. 3, б изображено пространство углов Эйлера (элементарный куб) для данной полюсной фигуры, в котором каждая ориентация представлена тремя точками.

Как было указано ранее, элементарный куб состоит из трех непересекающихся фундаментальных зон, которые отделяются друг от друга изогнутыми поверхностями. Получение уникальных ориентаций в пространстве Эйлера проблематично. В пространстве Родрига текстурные компоненты хорошо отделены друг от друга. Причем каждая ориентация представлена одной точкой.



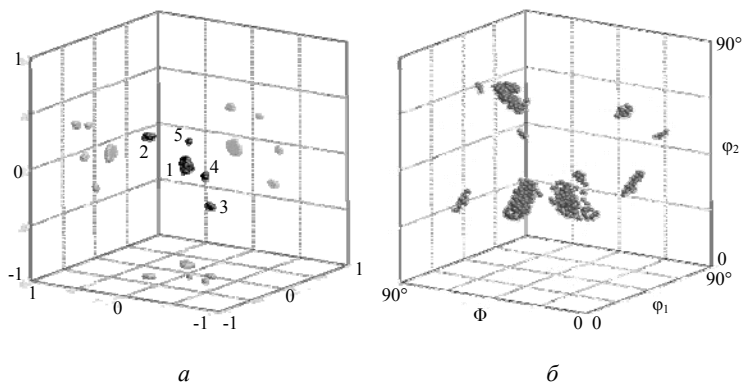


Рис. 3. Пространство Родрига для полюсной фигуры {200} (а);  
элементарный куб в пространстве Эйлера (б)

### Текстурные компоненты

| Текстурные компоненты | Координаты вектора Родрига | Угол разориентации | Индексы Миллера | Доля, % |
|-----------------------|----------------------------|--------------------|-----------------|---------|
| 1                     | (0,243, 0,195, -0,108)     | 36,547°            | {538}<194>      | 99,45   |
| 2                     | (-0,282, 0,232, 0,251)     | 47,800°            | {425}<132>      | 0,20    |
| 3                     | (0,014, -0,212, 0,374)     | 46,596°            | {318}<221>      | 0,15    |
| 4                     | (-0,156, -0,277, -0,066)   | 35,893°            | {325}<503>      | 0,14    |
| 5                     | (-0,099, -0,068, 0,209)    | 27,116°            | {115}<941>      | 0,06    |

### Выводы

В статье показано преимущество представления ориентаций кубических кристаллов в пространстве Родрига по сравнению с пространством углов Эйлера. Предложен алгоритм анализа прямых полюсных фигур, с помощью которого исследована полюсная фигура метеорита для плоскостей отражения {200}. По полученным результатам построены пространства Родрига и Эйлера. Показано, что в пространстве Родрига кластеры текстурных компонент хорошо разделяются.

### Список литературы

1. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я. С. Уманский, Ю. А. Скаков, А. Н. Иванов, Л. Н. Расторгуев. – М. : Металлургия, 1982. – 632 с.
2. Frank, F. C. Orientation mapping // Proc. of the ICOTOM-8 Conference. The Metallurg. Society. – 1988. – P. 3.
3. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1978. – 832 с.

4. *Neumann, P.* Representation of orientation and disorientation data for cubic, hexagonal, tetragonal and orthorhombic crystals / P. Neumann, A. Heinz // *Acta Cryst.* 1991, A47, pp. 780–789.

5. *Мокрова, С. М.* Анализ текстурных компонент металлов по прямым полюсным фигурам на основе объектно-векторного представления плоскостей отражения / С. М. Мокрова, Р. П. Петров, В. Н. Милич, Д. Б. Титоров // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов.* – 2014. – Т. 80. – № 5. – С. 30–34.

6. *Schäfer, W.* Applications of neutron diffraction pole figure measurements on polycrystalline and monocrystalline metallic samples. Examples from the four-circle neutron diffractometer in Jülich / W. Schäfer, S. Höfler, G. Will // *Textures and Microstructures*, 1988, Vols. 8 & 9, – pp. 457–466.

## **The representation of textural components of cubic metal by using the Rodrigues map**

**Abstract.** *Methods of the representation of the cubic crystals orientations by using Euler angles and Rodrigues vectors are compared in the article. Algorithm of search of textural components taking into account symmetry of the crystal and sample is suggested. The advantages of the display of the textural components in the Rodrigues map are shown by using the pole figure of kamacite for reflection planes {200}.*

**Keywords:** direct pole figure, textural components, symmetry, fundamental zone, Euler angles, the Rodrigues vector.

А. И. Назмутдинова, аспирант  
В. Н. Милич, канд. техн. наук, зав. отделом  
E-mail: lssm@ftiudm.ru  
ФГБУН «Физико-технический институт УрО РАН», г. Ижевск

## Метод интерпретации космических снимков площадных объектов местности на основе вейвлет-анализа

*Рассматривается метод классификации изображений объектов на многозональных космических снимках, который формирует векторы признаков на основе результатов вейвлет-преобразования. По результатам оценки разделяющей силы каждого такого признака им присваиваются показатели значимости в диапазоне от 0 до 1. Приводятся результаты классификации, полученные для объектов космического снимка, с использованием вейвлет-функций разных семейств.*

**Ключевые слова:** многозональные изображения, классификация, значимость признаков, вейвлет-преобразование, лесная растительность.

### Введение

Классификация изображений объектов на космических многозональных снимках является задачей, которая интересна в самых разных областях исследований. Так, космические снимки используются при определении состава и состояния растительности, мониторинге состояния окружающей среды, для экспресс-анализа при решении задач экоаналитического мониторинга, при оценке состояния посевов и продуктивности и многого другого [1]. Для решения подобных задач используются методики, состоящие, как правило, из этапов выбора признаков, обучения и принятия решения. В настоящей работе при формировании признаков предлагается использовать вейвлет-преобразование, которое зарекомендовало себя как эффективный инструмент анализа изображений. При большой размерности выбранного пространства признаков некоторые из них способны оказывать негативное влияние на результаты классификации. В предлагаемом методе существует специальный показатель значимости, вычисляемый на этапе обучения классификатора и оценивающий разделяющую силу призна-

ков. А на этапе принятия решения этот показатель выступает в качестве коэффициента, учитывающего вес признака.

### **Признаки для классификации**

Принято выделять две группы признаков – спектральные и пространственные. Спектральные признаки характеризуют отражательную способность разных объектов в разных диапазонах электромагнитного спектра, в то время как пространственные признаки характеризуют взаимное расположение пикселей. Использование признаков только одной группы не способно обеспечить высокие результаты классификации при решении сложных задач. В настоящей работе признаки строятся на основе вейвлет-преобразования, которое способно описывать сигнал сразу в двух областях – спектральной и пространственной. Такие признаки были исследованы в [2–3]. Вместе с тем остался открытым вопрос об эффективности разных видов вейвлет-преобразования и признаков, построенных на их основе.

### ***Вейвлет-преобразование***

Вейвлет-преобразование представляет собой разложение сигнала по базису специальных функций – вейвлетов [4]. В настоящей работе вейвлет-преобразование применяется к каждому из образцов обучения и тестирования. Для осуществления двумерного дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) используется стандартная схема Малла [2]. Согласно этой схеме, вейвлет-преобразование осуществляется последовательно для всех строк изображения, а затем для всех столбцов. При этом каждое применение ДВП можно трактовать как применение низкочастотного (НЧФ) и высокочастотного фильтров (ВЧФ). В результате вейвлет-преобразования изображения получают 4 под-изображения: изображение аппроксимации, а также изображения, отображающие горизонтальные, вертикальные и диагональные детали изображения. Для проведения следующего уровня ДВП необходимо произвести те же манипуляции с изображением аппроксимации, полученным на предыдущем уровне преобразования.

В настоящей работе исследование проводилось с вейвлет-функциями разных семейств. Это вейвлет Хаара, симлет и вейвлет Шеннона-Котельникова. Подробное описание и графики этих функций можно найти в литературе [5]. При дискретном ДВП все вейвлет-функции и соответствующие им масштабирующие функции представляются коэффициентами. Так, коэффициенты масштабирующей функции вейвлета Шеннона – Котельникова разного порядка представимы формулой

$$sh_n = \sqrt{2} \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} e^{i\omega n} d\omega = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & n = 0, \\ (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{\sqrt{2}}{\pi n}, & n - \text{нечетное}, \\ 0 & \text{при других } n. \end{cases} \quad (1)$$

В настоящей работе использовался вейвлет данного семейства с 7 коэффициентами.

### **Формирование признаков**

После вейвлет-преобразования имеем несколько под-изображений. Для получения векторов признаков рассчитываем следующие показатели для каждого канала и каждого ДВП-изображения:

- 1) среднее значение;
- 2) стандартное отклонение;
- 3) детальные характеристики результатов преобразования, которые характеризуют количество пикселей:
  - превышающих среднее значение;
  - превышающих 0,75 от среднего значения;
  - превышающих 1,25 от среднего значения;
  - меньше 0;
  - меньше 0,25 от среднего значения;
- 4) характеристики пиков по результатам преобразования:
  - количество пиков на уровне среднего значения;
  - средняя площадь пиков на уровне среднего значения;
  - максимальная площадь пика на уровне среднего значения.

### **Метод классификации**

На этапе обучения на вход подаются участки изображений, представляющие собой эталоны, принадлежность которых к классам нам известна. Для каждого из эталонов формируются векторы вейвлет-признаков. Выполняются следующие действия [6]:

1) На основании полученных эталонных значений признаков формируются диапазоны принимаемых значений, где в качестве левой и правой границ диапазонов выступают минимальное и максимальное значения признаков по всем эталонам.

2) Полученные диапазоны разбиваются на равные по размерам сегменты. Количество таких сегментов является входным параметром метода.

3) Строится вспомогательный массив  $L$  по следующему правилу:  $l_{ij} = 1$ , если значение хотя бы одного образца  $i$ -го класса попадает в  $j$ -й сегмент; иначе  $l_{ij} = 0$ .

4) Для каждого признака по формулам (2), (3) вычисляются показатель значимости и массив достоверности.

$$F = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{nz} \left( l_{ij} \cdot \sum_{k=1, k \neq j}^M l_{kj} \right)}{\sum_{j=1}^{nz} l_{ij}} \right) / (M \cdot (M - 1)), \quad (2)$$

где  $M$  – количество классов;  $nz$  – количество сегментов, на которое разбиты диапазоны значений признаков.

$$\mu_{ij} = \frac{\frac{m_{ij}}{N_i} \cdot l_{ij}}{\sum_{i=1}^K \frac{m_{ij}}{N_i} \cdot l_{ij}}, \quad i = \overline{1, K}, \quad j = \overline{1, nz}, \quad (3)$$

где  $m_{ij}$  – количество образцов  $i$ -го класса, значения которых по рассматриваемому признаку попадают в  $j$ -й сегмент;  $N_i$  – общее количество обучающих образцов  $i$ -го класса;  $K$  – количество классов.

Важно отметить, что показатель значимости является характеристикой, которая оценивает то, насколько хорошо конкретно этот признак разделяет классы. При этом показатель значимости может принимать значения от 0 до 1, где 0 означает, что признак не обладает разделяющей силой признака, а 1 – признак обладает максимальной разделяющей силой с точки зрения предложенного метода оценки значимости.

Элементы массива достоверности, которые рассчитываются по формуле (2), характеризуют вероятность того, что образец принадлежит классу с номером  $i$  при условии попадания его значения признака в сегмент с номером  $j$ . Расчитанные показатели послужат основой для принятия решения.

При принятии решения предъявленному исследуемому образцу сопоставляется вектор вейвлет-признаков. Дальнейшие действия можно описать следующими этапами:

1) Для каждого признака определить номер сегмента, в который попадает его значение.

2) Для каждого класса вычислить показатель приоритета по формуле

$$pri_i = \sum_{j=1}^K F_j \cdot \mu_{is_j}, \quad \text{где } s_j \text{ – номер сегмента, в который попало значение признака под номером } j.$$

где  $s_j$  – номер сегмента, в который попало значение признака под номером  $j$ .

3) Отнести исследуемый образец к тому классу, значение *pri* которого максимально.

### Исходные данные

С помощью предложенного метода был исследован снимок съёмочной системы RapidEye [7] на территорию Игринского лесхоза Удмуртской Республики. На этом снимке было выделено шесть классов объектов лесной растительности с разным видовым составом:

- 1) смешанный лес (береза, сосна);
- 2) лиственный лес (береза, осина);
- 3) ель (сомкнувшиеся культуры);
- 4) лиственный лес (липа, береза, осина);
- 5) хвойный лес (посадки);
- 6) вырубки.

Для каждого из классов было отобрано по 25–27 эталонных образцов размерами 16×16 и 32×32. Исследуемый снимок имеет 5 спектральных каналов и пространственное разрешение 5 м.

### Результаты

При обучении и тестировании классификатора использовалось по 10 эталонных образцов и по 15–17 тестовых образцов каждого класса соответственно. Выполнено исследование порогов значимости признаков, которые включались в процесс классификации. Были рассмотрены пороги значимости, равные 0, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7. В таблице приведены наиболее высокие результаты для разных вейвлет-функций и соответствующие этим результатам пороги значимости.

#### Результаты классификации

| Вейвлет-функция      | Порог значимости | Общая точность |
|----------------------|------------------|----------------|
| Хаара                | 0,6              | 90,4 %         |
| Симлет               | 0,6              | 94,7 %         |
| Шеннона-Котельникова | 0,4              | 96,8 %         |

### Выводы

Ключевым моментом интерпретации космических снимков является этап классификации выделенных контуров изображений объектов.

Результат классификации изображений объектов зависит от эффективности используемой системы признаков и метода классификации.

Существенную роль играют вид вейвлет-преобразования и порог значимости, определяющий вектор признаков, участвующих в классификации.

Предложенный метод, основанный на вейвлет-преобразовании, способен классифицировать изображения визуально трудноразличимых объектов лесной растительности с общей точностью, превышающей 90 %. При этом наиболее эффективным оказывается вейвлет-преобразование Шеннона – Котельникова.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-06-04239а.*

### Список литературы

1. Шовенгердт, Р. А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений. – М. : Техносфера, 2010. – 560 с.
2. Назмутдинова, А. И. Алгоритмическое и программное обеспечение вейвлет-анализа многозональных космических снимков / А. И. Назмутдинова, В. Н. Милич // Инновации в науке, технике и технологиях : Всерос. конф. – Ижевск : Удмуртский университет, 2014. – С. 189–191.
3. Назмутдинова, А. И. Исследование признаков, построенных на основе вейвлетов, при определении характеристик лесной растительности по результатам космической съемки / А. И. Назмутдинова, В. Н. Милич // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2015. – № 1. – С. 94–95.
4. Короновский, А. А. Непрерывный вейвлет-анализ и его приложения / А. А. Короновский, А. Е. Храмов. – М. : Физматлит, 2003. – 176 с.
5. Смоленцев, Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
6. Вагин, В. Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин, Е. Ю. Головина, А. А. Загорянская, М. В. Фомина. – М. : Физматлит, 2004. – 704 с.
7. Спутники RapidEye [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rapideye-satellite.ru/satellites.html> (дата обращения: 05.05.2015).

### Method of interpretation of the objects in the satellite images on the basis of the wavelet-analysis

**Abstract.** *The method of classification of the objects in satellite multispectral images that forms features set on the basis of the wavelet-transform results is considered. The significances with values in range from 0 to 1 are assigned to each feature on basis of the assessment of separating power of the features. Features based on the wavelet transform are used. The results of the classification for satellite image objects using wavelet functions of different families are presented.*

**Keywords:** multispectral images, classification, feature significance, wavelet transform, forest vegetation.



*В. В. Спиридонов*, магистрант  
*К. Ю. Петухов*, канд. техн. наук, доц.  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

## **Аппартно-программная реализация методов быстрого умножения**

*Дается краткое описание алгоритмов быстрого умножения и реализация некоторых алгоритмов на языке описания аппаратуры VHDL. Кратко рассматриваются достоинства и недостатки алгоритмов, поэтапно описывается разработка функционального блока.*

**Ключевые слова:** системы на кристалле, язык описания аппаратуры, алгоритмы быстрого умножения, алгоритм Бута.

В настоящее время системы на кристалле (отечественное обозначение СнК, или оригинальное SoC – System-on-Chip) активно используются в различных областях науки и техники, это обусловлено их не высокой стоимостью и большим набором выполняемых функций, который достигается за счет использования различных функциональных блоков: АЛУ, ОЗУ, ПЗУ, блоков, реализующих стандартные интерфейсы и др. Зачастую функциональные блоки, используемые в СнК, являются интеллектуальной собственностью компании разработчика блока, которая реализует готовый блок, разработанный на языке описания аппаратуры, как программный продукт.

Многие предприятия Удмуртской Республики, такие как ОАО «Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг», АО «Ижевский радиозавод», используют ПЛИС для создания различных систем и ведут разработку программных модулей, предназначенных для получения систем на ПЛИС.

Так, например, многие ПЛИС имеют встроенные умножители, однако алгоритмы их работы и их структура зачастую не описывается в технических описаниях на ПЛИС. Рассмотрим некоторые алгоритмы быстрого умножения.

Алгоритмы быстрого умножения – это алгоритмы, которые позволяют логически ускорить выполнение операции умножения. Алгоритмы быстрого умножения можно разделить на две группы:

- методы, уменьшающие количество сложений;
- методы, обеспечивающие обработку нескольких разрядов за шаг [1].

Кроме того, существуют также аппаратные методы ускорения умножения, однако в рамках данной работы они не рассматриваются.

Все методы ускорения умножения приводят к дополнительным затратам оборудования, при использовании алгоритмов быстрого умножения значительно усложняется схема управления. Рассмотрим следующие алгоритмы быстрого умножения: алгоритм Бута, модифицированный алгоритм Бута.

Алгоритм Бута – это алгоритм быстрого умножения перемножающий два двоичных числа в дополнительном коде. Для выполнения умножения с помощью алгоритма Бута необходимо сложить или вычесть множитель(в дополнительном коде) с произведением, после чего выполнить арифметический сдвиг вправо над произведением.

Сам алгоритм заключается в анализе  $b_i b_{i-1}$  разрядов произведения. В зависимости от их значений выполняются следующие действия, описанные в табл. 1.

**Таблица 1. Выполняемое действие в зависимости от значений разрядов в алгоритме Бута**

| $b_i$ | $b_{i-1}$ | Выполняемое действие                 |
|-------|-----------|--------------------------------------|
| 0     | 0         | Операции не производятся             |
| 0     | 1         | Множимое прибавляется к произведению |
| 1     | 0         | Множимое вычитается из произведения  |
| 1     | 1         | Операции не производятся             |

После окончания описанных выше действий производится арифметический сдвиг вправо над множимым после чего необходимо вернуться к анализу разрядов. Данный цикл может повторяться от  $N$  до  $N/2$  (при наилучшем сочетании нулей и единиц сомножителей) раз, где  $N$  – количество разрядов множителя.

Большее распространение получил модифицированный алгоритм Бута, так как при использовании этого алгоритма, вне зависимости от сочетания нулей и единиц, количество итераций цикла всегда будет  $N/2$ . В модифицированном алгоритме Бута необходимо анализировать три разряда произведения  $b_{i+1} b_i b_{i-1}$ , и от их значений выполняются следующие действия, описанные в табл. 2.

Затем необходимо выполнить арифметический сдвиг на два разряда вправо над произведением. После этого вернуться к анализу разрядов. Данный цикл повторяется  $N/2$  раз.

**Таблица 2. Выполняемое действие в зависимости от значений разрядов в модифицированном алгоритме Бута**

| $b_{i+1}$ | $b_i$ | $b_{i-1}$ | Выполняемое действие                           |
|-----------|-------|-----------|--|
| 0         | 0     | 0         | Операции не производятся                       |
| 0         | 0     | 1         | Множимое прибавляется к произведению           |
| 0         | 1     | 0         | Множимое прибавляется к произведению           |
| 0         | 1     | 1         | Удвоенное множимое прибавляется к произведению |
| 1         | 0     | 0         | Удвоенное множимое вычитается из произведения  |
| 1         | 0     | 1         | Множимое вычитается из произведения            |
| 1         | 1     | 0         | Множимое вычитается из произведения            |
| 1         | 0     | 1         | Операции не производятся                       |

Для практической реализации операционного устройства (ОУ) были выбраны алгоритм Бута и модифицированный алгоритм Бута, так как они представляют интерес для изучения особенностей выполнения операций в дополнительном коде в АЛУ. ОУ было реализовано на языке VHDL.

При проектировании ОУ, выполняющего умножение с помощью алгоритма Бута, по словесному описанию алгоритма Бута была разработана микропрограмма, на основе которой был реализован управляющий автомат (УА) с жесткой логикой. Также был разработан операционный автомат (ОА), состоящий из набора операционных блоков. Затем УА и ОА были объединены в функционально законченное ОУ – умножитель и реализованы в САПР QUARTUS II на языке VHDL.

**Листинг 1. Пример части исходного кода УА написанного на языке VHDL**

```
entity UAT1 is
port(E,C,X1,X2,X3,x4,R1:in BIT;
F: out BIT_VECTOR (15 downto 0);
Y: out BIT_VECTOR (8 downto 0);
A1: out BIT_VECTOR (15 downto 0));
end UAT1;
architecture UAT1_arch of UAT1 is
signal F1: BIT_VECTOR (15 downto 0);
YA;
signal F2: BIT_VECTOR (15 downto 0);
signal Y1: BIT_VECTOR (8 downto 0);
signal F3: BIT_VECTOR (3 downto 0);
signal F4: BIT_VECTOR (3 downto 0);
signal XN: BIT_VECTOR (1 to 4);
signal R,XPC1:BIT;
component REGS1R1
port(c1,r:in BIT;
A:in BIT_VECTOR(15 downto 0);
Q:out BIT_VECTOR (15 downto 0));
end component;
```

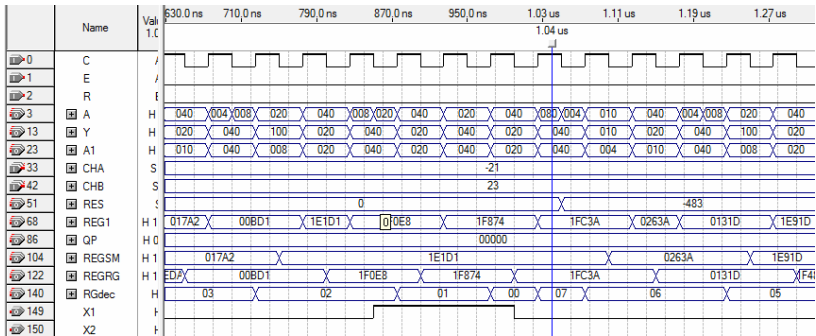


Рис. 1. Симуляция работы в САПР QUARUS II

Основные этапы проектирования ОУ, выполняющего умножение с помощью модифицированного алгоритма Бута: разработка микропрограммы, проектирование УА и ОУ, идентичны вышеописанному. Однако существуют различия в реализации. Сам модифицированный алгоритм Бута имеет более сложную микропрограмму, в результате чего усложняется УА, и увеличивает количество дополнительных вычислений множителя.

Листинг 2. Пример части исходного кода ОА написанного на языке VHDL

```
entity ALU1 is -- описание объекта;
port(C,R:in BIT; -- описание портов;
X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8,X9:out bit;
Y: in BIT_VECTOR (8 downto 0);
A,B: in signed (7 downto 0);
Q: out signed (15 downto 0);
QRE: out signed(16 downto 0);
QSM: out signed(16 downto 0);
QRG: out signed(16 downto 0);
Qdec:out signed(7 downto 0);
QP: out signed(16 downto 0));
end ALU1;
architecture ALU1_arch of ALU1 is -- описание архитектуры;
signal C1,R1,XB: BIT;
signal X11,X22,X33,X44,X55,X66,X77,X88,X99: bit;
signal F1: signed(7 downto 0);
signal F2:signed (7 downto 0);
component Apr -- описание компонентов;
port (C,R,E:in Bit;
A: in signed (7 downto 0);
Q:buffer signed (16 downto 0));
end component;
component Spr
port (C,R,E:in Bit;
A: in signed (7 downto 0);
Q:buffer signed (16 downto 0));
end component;
```

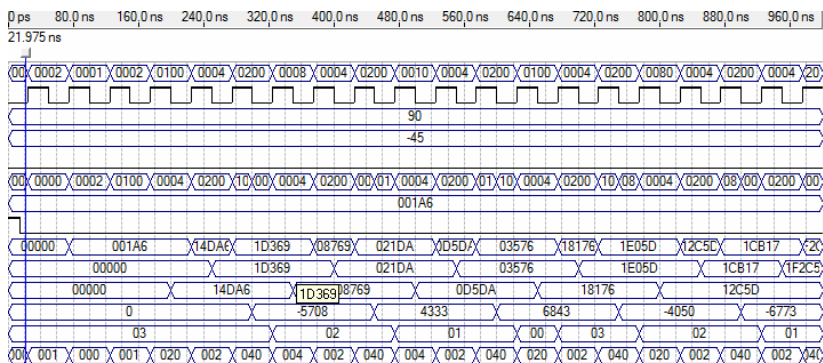


Рис. 2. Симуляция работы в САПР QUARUS II

## Заключение

Алгоритмы быстрого умножения, такие как алгоритм Бута и модифицированный алгоритм Бута, дают значительное ускорение выполнения операции умножения. Так, алгоритм Бута позволяет ускорить выполнение операции и при наиболее благоприятных условиях умножение выполнится за  $N/2$  циклов микропрограммы. Модифицированный алгоритм Бута дает еще большее ускорение умножения и при любых значениях сомножителей количество итераций цикла не будет превышать  $N/2$ . Это достигается за счет дополнительной перекодировки множителя и выполнения арифметического сдвига на два разряда вправо. Из симуляции в САПР QUARUS II, показанной на рис. 1 и 2, видно, что модифицированный алгоритм Бута позволяет выполнить операцию умножения в два раза быстрее по сравнению с алгоритмом Бута, что дает рост производительности. Однако необходимо отметить, что ускорение умножения в алгоритмах Бута достигается за счет анализа последних битов множителя и перекодировкой множителя, что приводит к усложнению микропрограммы, а это влечет усложнение УА и ОА.

## Список литературы

1. Цилькер, Б. Я. Организация ЭВМ и систем : учебник для вузов / Б. Я. Цилькер, С. А. Орлов. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2011. – 688 с.
2. VHDL: Справочное пособие по основам языка / В. П. Бабак, А. Г. Корченко, Н. П. Тимошенко, С. Ф. Филоненко. – М. : Издательский дом «ДодэкаХХI», 2008. – 224 с.
3. Стешенко, В. Б. ПЛИС фирмы Altera: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. – М. : Издательский дом «ДодэкаХХI», 2007. – 576 с.

## **The hardware and software implementation of methods for rapid multiplication**

**Abstract.** *A brief description of the algorithms of fast multiplication and the implementation of some algorithms on hardware description language VHDL. Briefly discusses the advantages and disadvantages of algorithms, describes the development stages of the function block.*

**Keywords:** system-on-chip, hardware description languages, algorithms for rapid multiplication, algorithm Booth.

*Электронное научное издание*

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ В XXI ВЕКЕ – 2015.  
ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции  
(Ижевск, 25–27 ноября 2015 года)

Корректор *М. А. Ложкина*  
Технический редактор *С. В. Звягинцова*  
Верстка *С. А. Мурашова, Н. В. Паклиной*

Директор Издательства ИжГТУ *Г. А. Осипова*

Выпуск в свет 20.10.2016. Заказ № 233

Издательство Ижевского государственного технического университета  
имени М. Т. Калашникова  
Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ. 426069, Ижевск, Студенческая, 7