

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

**XVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

«МОЛОДЕЖЬ И НАУКА»

Тезисы докладов

Часть 1

Москва

УДК 001(06)
ББК 72г
НЗ4

XVIII Международная телекоммуникационная конференция молодых ученых и студентов «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА». Тезисы докладов. Ч. 1. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. – 164 с.

Сборник содержит тезисы докладов, включенных в программу XVIII Московской международной телекоммуникационной конференции молодых ученых и студентов «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА», проводимой в сети Интернет в ноябре-декабре 2014 года на сайте НИЯУ МИФИ <http://mn.mephi.ru/>.

Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов: ядерная физика и энергетика; автоматика и электроника; микро- и нанoeлектроника в ядерном приборостроении и наноиндустрии; ядерная медицина и медицинская диагностика; лазерная физика; экологическая безопасность; разработка новых материалов; стратегические информационные технологии; кибернетика и безопасность; инновационные проекты; экономика и право; методология образования.

Книга предназначена молодым ученым, аспирантам и студентам, интересующимся тематикой представленных научных направлений.

Редколлегия: О.Н. Голотюк (ответственный редактор),
В.И. Рачков, В.И. Деев, В.И. Наумов, Е.В. Петрова, С.А. Губин,
Е.А. Крамер-Агеев, В.Т. Самосадный, А.А. Удалова, В.А. Телец,
В.С. Першенков, Э.Я. Школьников, Б.А. Калинин, С.Б. Чебышов,
В.Д. Борман, В.Н. Беляев

Статьи сборника издаются в авторской редакции.
Материалы получены до 20.11.2014

ISBN 978-5-7262-2047-5

© Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», 2015

Подписано в печать 25.11.2014. Формат 60×84 1/16.
Печ. л. 10,25. Тираж 120 экз. Заказ № 186

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
Типография НИЯУ МИФИ.
115409, Москва, Каширское ш., 31

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ЮСУПОВ А.Н.

Научный руководитель – ОРИЩЕНКО А.В., к.ф.-м.н., доцент
Перспективы развития и внедрения радионуклидных
источников энергии12

КРИВОШЕИН И.Н., ЖАВОРОНКОВА А.А.

Научные руководители – ТЕРНОВЫХ М.Ю.
ТИХОМИРОВ Г.В., к.ф.-м.н., доцент
Независимое тестирование кода CONSYST и библиотек БНАБ-93
и БНАБ-РФ в рамках проекта «ПРОРЫВ»14

ГОЛОЛОБОВ С.М.

Научный руководитель – СЕМЕНОВ А.А., к.ф.-м.н.
Оптимизация работы АЭС в маневренном режиме совместно
с ГАЭС и применение технологии параллельных вычислений16

НИКИТИН С.Н., ШОРНИКОВ Д.П., ТАРАСОВ Б.А.

Научный руководитель – БАРАНОВ В.Г., к.ф.-м.н., профессор
ТВЭЛ с металлическим ядерным топливом для реакторов
на быстрых нейтронах18

КРИВОШЕИН И.Н.

Научный руководитель – ТЕРНОВЫХ М.Ю.
3-D моделирование выгорания в быстрых реакторах20

КОВАЛЬ А.А.

Научный руководитель – УЗИКОВ В.А.
Перспективы применения барабанных пленочных испарителей
для переработки жидких радиоактивных отходов22

ГУРБАНОВА Ш.А.

Научный руководитель – ХАРИТОНОВА Н.Л., к.т.н.
Сравнительный анализ данных по растворимости неконденсирующихся
газов в воде и паре при повышенных температурах и давлениях24

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, ГОРЕНИЕ И ДЕТОНАЦИЯ

ЕЛЬНИКОВ И.А.

Научный руководитель – КОНЕВ В.Н.
Реализация процесса гомогенного смесеобразования в системах
впрыска топлив26

МАРКОВА Е.С.

Научный руководитель – ФРОИМСОН М.И., аспирант
Моделирование плазмохимических реакторов сепарации материалов
при переработке мусора27

ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

ГЕТМАНЕЦ М.Г.

Научный руководитель – ЩЕРБАКОВА Н.С., аспирант

Анализ рисков в новой технологической платформе атомной отрасли28
ЮСУПОВ А.Н.

Научный руководитель – ОРИЩЕНКО А.В., к.ф.-м.н., доцент

Нейтронный дозиметр, без спектрометрического сопровождения,
в диапазоне энергий промежуточных и быстрых нейтронов,
на базе полимерного трекового детектора CR-39.....30

ГАЛИУЛЛОВ И.Н.

Научный руководитель – ОРИЩЕНКО А.В., к.ф.-м.н., доцент

Ядерное нераспространение. Современная ситуация.....32

ЯДЕРНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ЯРМЫШЕВ Д.В.

Научный руководитель – КОПТЕЛОВ М.В., аспирант

Оценка конкурентной среды на рынке строительства АЭС на примере
тендера – «Темелин» в Чехии.....34

АВТОМАТИКА В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ДОВГОПОЛАЯ Е.А.

Научные руководители – МАСЛЕННИКОВ В.В., д.т.н., профессор

МЕЩЕРЯКОВ В.В., к.т.н., доцент

Оптимизация системы автоматического регулирования сканирующего
нанотвердомера.....36

НИКОЛАЕВА Д.В.

Научный руководитель – СЕМЕНОВ И.Б., к.ф.-м.н.

Применение методологии проектирования АСУ ТП подсистем
установки ИТЭР на примере стенда для тестирования порт-плаггов37

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА, МОДЕЛИРОВАНИЯ, ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННОЙ ТЕХНИКИ

ЮРЛОВА М.С.

Научные руководители – ОЛЕВСКИЙ Е.А., Ph.D., профессор

– ГРИГОРЬЕВ Е.Г., к.т.н., в.н.с.

Разработка технологии фабрикации нитридного ядерного топлива.....39

БИРЮКОВ А.П.	
Научный руководитель – СУРИН В.И., к.т.н., доцент	
Разработка электрофизического прибора – определителя состава проволок.....	41
БАРЫШЕВ Г.К.	
Научный руководитель – СУРИН В.И., к.т.н., доцент	
Разработка информационно-измерительного комплекса контроля качества установки систем инженерной защиты.....	43

НАНОЭНЕРГЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ

КОРОЛЕВ М.В.	
Научные руководители – КУРЧАТОВ И.М., к.ф.-м.н., доцент ЛАГУНЦОВ Н.И., к.ф.-м.н., доцент	
Исследование одноконтурной мембранно-сорбционной системы для обогащения воздуха кислородом.....	45
КАРАСЕВА М.Д.	
Научные руководители – ЛАГУНЦОВ Н.И., к.ф.-м.н., доцент, КУРЧАТОВ И.М., к.ф.-м.н., доцент	
Выбор оптимального значения селективности мембраны для извлечения гелия из природного газа.....	47
ТИШИН А.А.	
Научные руководители – КУРЧАТОВ И.М., к.ф.-м.н., доцент ЛАГУНЦОВ Н.И., к.ф.-м.н., доцент	
Исследование разделительных свойств цеолитов в процессах короткоцикловой адсорбции.....	49
АЛЕКСАНДРОВ Р.А.	
Научные руководители – ЛАГУНЦОВ Н.И., к.ф.-м.н., доцент КУРЧАТОВ И.М., к.ф.-м.н., доцент	
Разработка эжекционной подготовки и подачи реагентов в системах водоочистки.....	51

МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

ОСИПОВА Т.А.	
Научные руководители – МАКИН Р.С., д.ф.-м.н., профессор УЗИКОВ В.А.	
Применение ампульного канала с естественной циркуляцией для внутриреакторных испытаний.....	53

ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

ЮСУПОВ А.Н.

Научный руководитель – ОРИЩЕНКО А.В., к.ф.-м.н., доцент

Применение радиоиммунотерапии для лечения и диагностики
заболеваний.....55

ОДЛОЖИЛИК Б.

Научный руководитель – ПРОХАЗКА Т.

Медицинский научный руководитель – ШЛАМПА П., д.мед.н.

Радиобиологическое моделирование экстракраниальной
стереотаксической радиотерапии57

ЗАХАРОВА А.О.

Научный руководитель – КОНЕВ В.Н., аспирант

Очки для визуализации мест скопления раковых клеток при проведении
хирургических операций.....58

АШАНИН И.А.

Научный руководитель – ПОЛОЗОВ С.М., к.ф.-м.н., доцент

Регулировка энергии в сверхпроводящем линейном ускорителе
для протонной лучевой терапии60

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

БИРЮКОВА К.С.

Научный руководитель – ЛЕБЕДЕВ В.В., д.т.н., профессор

Упрощенные медицинские приборы для оценки правильности лечебных
процедур и дальнейшего лечения62

КАЗЫМОВА Ю.А.

Научный руководитель – СТАРИКОВСКИЙ А.В.

Применение магнитных технологий в лечебной гипертермии
для онкотерапии.....64

ШУВАЛОВ Р.Д.

Научный руководитель – ЗУЙКОВ А.В.

Имплантируемая система хранения медицинской информации
о пациенте.....65

ЖАРИКОВ Е.С.

Научный руководитель – ЧУГУНКОВ И.В., к.т.н., доцент

Средство для психологического тренинга на основе
компьютерной мыши66

БУЛЫЧЕВ И.Г.

Научный руководитель – МИХАЙЛОВ Д.М., к.т.н.

Прибор для определения состояния функциональных систем
человека по определенным точкам на теле.....67

РАДИАЦИОННО-СТОЙКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

АНТОНЮК А.В.	
Научный руководитель – СТЕНИН В.Я., д.т.н., профессор	
Проектирование элементов усилителей и буферов для КЭШ ОЗУ по технологии КМОП 28-нм	68
КОБЫЛЯЦКИЙ А.В.	
Научный руководитель – ГРИГОРЬЕВ Н.Г., к.т.н., с.н.с.	
Особенности конструктивно-топологической реализации синхронных усилителей считывания в КМОП ОЗУ	70
ДОМОЖАКОВ Д.А.	
Научный руководитель – КОНДРАТЕНКО С.В., к.т.н., доцент	
Разработка библиотеки быстродействующих CML-элементов	72
DROSDETSKY M.G.	
Scientific instructor – ZEBREV G.I.	
Modeling of dose effects in bipolar devices during irradiation at low temperatures	74
GALIMOV A.M.	
Scientific Instructor – ZEBREV G.I.	
Competition between elders effect and thermal annealing in bipolar integrated circuits	76
СТЕПАНОВ П.В.	
Научный руководитель – СТЕНИН В.Я., д.т.н., профессор	
Особенности управляющей логики блока ОЗУ для КЭШ на основе 65-нм КМОП ячеек памяти, повышенной сбоеустойчивости	78
ПУДОВ В.В.	
Научный руководитель – СТЕНИН В.Я., д.т.н., профессор	
Электрическое моделирование эффекта компенсации помехи в цепочке 65-нм КМОП инверторов при воздействии одиночной ядерной частицы	80
АМБУРКИН Д.М.	
Научный руководитель – НИКИФОРОВ А.Ю., д.т.н.	
Поведение высокочастотных МОП транзисторов с продольной диффузией при импульсном и дозовом воздействии ионизирующего излучения	82
КРУТОВ А.А.	
Научный руководитель – СТЕНИН В.Я., д.т.н., профессор	
Элементы управления записью и выборки для КЭШ ОЗУ по технологии КМОП 28-нм	84
КАТУНИН Ю.В.	
Научный руководитель – СТЕНИН В.Я., д.т.н., профессор	
Комбинирование двухфазных элементов и дублированной традиционной логики в схемах управления двухфазным триггером-защелкой DICE	86
ЛЕВИН К.Э.	
Научный руководитель – СТЕНИН В.Я., д.т.н., профессор	
Декодер ХСЯО (72, 64) по технологии 28-нм КМОП	88

ШМАКОВ С.Б.

Научные руководители – УЛАНОВА А.В., к.т.н., доцент

БОРУЗДИНА А.Б., научный сотрудник

Обеспечение предельных уровней импульсного ионизирующего
воздействия применением оптимальной длины волны лазерного
излучения для КМОП КНИ СБИС.....90

ШВЕЦОВ-ШИЛОВСКИЙ И.И., СМОЛИН А.А.

Научный руководитель – НЕКРАСОВ П.В., к.т.н., доцент

Особенности измерения постоянных токов малой амплитуды
(порядка пикоампер).....92

ШВЕЦОВ-ШИЛОВСКИЙ И.И., СМОЛИН А.А.

Научный руководитель – НЕКРАСОВ П.В., к.т.н., доцент

Критичный режим работы КНИ транзисторов при дозовом воздействии...94

МЕХОВСКИЙ Е.А., ЧЕРНЯК М.Е.

Научный руководитель – УЛАНОВА А.В., к.т.н., доцент

Сравнение радиационных эффектов космического пространства
в КМОП- и ПЗС-матрицах96

ПЕТРОВА Е.В., КОМАРОВА Н.А.

Научный руководитель – УЛАНОВА А.В., к.т.н., доцент

Методы задания равномерной засветки для измерения параметров
фоточувствительной матрицы98

КОМАРОВА Н.А.

Научный руководитель – УЛАНОВА А.В., к.т.н., доцент

Методика контроля параметров фоточувствительной матрицы
по полученному изображению.....100

БЕЛОВА М.П.

Научный руководитель – БОЙЧЕНКО Д.В., к.т.н., доцент.

Опыт использования автоматизированного измерительного комплекса
для контроля параметров стабилизаторов напряжения
и DC/DC-конвертеров102

КАГИРИНА К.А., МАРФИН В.А.

Научный руководитель – НЕКРАСОВ П.В., к.т.н., доцент

Расширение аппаратно-программного комплекса для исследования
радиационной стойкости сложно-функциональных СБИС прибором
реконфигурируемого ввода/вывода104

МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

БАКУН А.Д.

Научный руководитель – ВОРОНОВ Ю.А., к.т.н., доцент

Отработка процесса реактивного ионного травления кремния
для изготовления МЭМС106

КРИВЦОВ Д.Н.

Научный руководитель – НИКИТИН Л.Н., к.т.н., доцент

Прибор контроля микроклимата в условиях повышенной влажности108

ВЕРЕИТИН В.В.	
Научный руководитель – ХЛАМОВ М.Г., д.т.н., профессор	
Аналоговый измерительный канал пирозлектрического датчика	110
ШУЛЬГА А.С.	
Научный руководитель – НОВИКОВА И.А., к.т.н. доцент	
Разработка частотомера	111
ЛИХАЧЁВ Р.С.	
Научный руководитель – ТУРЕЦКИЙ А.В., к.т.н., доцент	
Разработка конструкции USB-регистратора событий	112
АЛЕХИН А.А.	
Научный руководитель – РОМАЩЕНКО М.И., к.т.н., доцент	
QRP-трансивер.....	113
КОМЛЕВ А.А.	
Научные руководители – ШАГУРИН И.И., д.т.н., профессор	
НАСОНОВ И.И., ведущий инженер	
Сложно-функциональный блок универсального коммуникационного	
порта для многопроцессорных систем.....	114
БУЛЬБАКОВ И.С.	
Научный руководитель – АТКИН Э. В., к.т.н., доцент	
Схема источника опорного напряжения типа BANDGAP в КМОП	
технологии 180 нм	115
ТИНЯЕВ В.А.	
Научные руководители – ШАГУРИН И.И., д.т.н., профессор	
ЧЕРНИКОВ А.В., старший инженер	
Векторный регистровый файл операционного узла сопроцессора	
арифметики с плавающей точкой	117
БОГДАНОВА А.А., ЖИХАРЕВ Г.Ю.	
Научный руководитель – ШАГУРИН И.И., д.т.н., профессор	
Методика верификации криптоблоков, реализующих алгоритмы	
хеширования	118
ДОМОЖАКОВ Д.А.	
Научный руководитель – КОНДРАТЕНКО С.В., к.т.н., доцент	
Методика расчета вероятности возникновения ошибок	
в высокопроизводительных каналах связи	120
ГЕРАСИМЧУК А.В., ЕСЕНЬКОВ К.А., КОБЗАРЬ М.С., ЖИХАРЕВ Г.Ю.	
Научный руководитель – ШАГУРИН И.И., д.т.н., профессор	
Организация вычислительного канала для расчёта хеш-сумм	
в криптоблоках, реализуемых в составе «систем на кристалле»	122
ПАНЧЕНКО И.В.	
Научный руководитель – НОВИКОВА Е.И., к.т.н., доцент	
Разработка информационно-программного обеспечения диагностики	
острого панкреатита.....	124
ВИНОГРАДОВ С.М.	
Научный руководитель – КОНДРАТЕНКО С.В., к.т.н., доцент	
Увеличение выходной частоты CMOS кольцевого генератора.....	125

ВИНОГРАДОВ С.М.	
Научный руководитель – КОНДРАТЕНКО С.В., к.т.н., доцент	
Формирование тестовых последовательностей из выходных сигналов промежуточных каскадов CMOS кольцевого генератора.....	127
МИТРОФАНОВ К.А.	
Научный руководитель – БАЛАШОВ Ю.С., д.ф.-м.н., профессор	
Разработка функциональной модели блока часов реального времени для микроконтроллера	129
САГДИЕВ И.Г.	
Научный руководитель – АТКИН Э.В., к.т.н., доцент	
Формирователь логического сигнала сброса	130
САГДИЕВ И.Г.	
Научный руководитель – АТКИН Э.В., к.т.н., доцент	
Триггер Шмитта с управляемыми пороговыми напряжениями	132
ГУСЕВ А.В.	
Научный руководитель – АТКИН Э.В., к.т.н., доцент	
Модификация и моделирование активного фильтра типа Sallen-Key ...	134
ПОЛЕВ А.В.	
Научный руководитель – КОНДУСОВ В.А., к.т.н., доцент	
Разработка источника питания портативного компьютера	136
МАРЬИНА Е.В., ИМАМЕТДИНОВ Э.Ф.	
Научный руководитель – КРАСНЮК А.А., к.т.н., доцент	
Моделирование транзисторных МДП-структур для предельных режимов работы	137
ЗЕМЦОВ К.С.	
Научный руководитель – ЗЕБРЕВ Г.И., д.т.н., доцент	
Влияние флуктуации энерговыделения на распределение кратностей сбоев в схемах памяти с высокой степенью интеграции	139
БЕРЛЕВ Е.А.	
Научный руководитель – ТУРЕЦКИЙ А.В., к.т.н., доцент	
Система автоматического поддержания температуры в помещении	141
ПОНОМАРЕВ Н.Н.	
Научный руководитель – СКОРОБОГАТОВ В.С., к.т.н., доцент	
Разработка конструкции ферритового вентиля	142
ПЕЛЬТИХИН Р.В.	
Научный руководитель – НОВИКОВА И.А. к.т.н., доцент	
Разработка автоматического генератора импульсов	143

МОЩНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРОФИЗИКА

БАЙКОВА О.А.	
Научный руководитель – СТРИХАНОВ М.Н., д.ф.-м.н., профессор	
Моделирование мощного импульсного клистрона с КПД около 90%	144

РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА

ПИВЦАЕВ А.А.

Научный руководитель – БЕЛОКОНЬ В.И., д. ф.-м. н., профессор

Исследование синтетических пищевых красителей методом
позитронной аннигиляционной временной спектроскопии146

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

БОБРОВА И.А.

Научный руководитель – КУЗЬМИН М.К., д.ф.-м.н., профессор

Операционный метод решения задач физики
на колебательные процессы148

КОСТРОВА О.А.

Научный руководитель – ЛУПИН С.А., к.т.н., профессор

Моделирование сложных дифференциальных уравнений150

ТХУРАЙН ТУН, ШОШИН А.М.

Научный руководитель – ГУРЕЕВ А.В., д.т.н., доцент

Исследование особенностей распространения информации
внутри зданий151

КУЗНЕЦОВ К.А., КОНОНОВ В.М.

Научный руководитель – КЛИМОВ В.В., к.т.н., старший преподаватель

Система автоматизированного построения фазовых портретов
в трехмерном пространстве153

ЛИЗУНОВА М.А., ЛЕНСКИЙ В.А.

Научный руководитель – ГАНИ В.А., к.ф.-м.н.

Резонансные явления в столкновениях кинков модели ϕ^8
при низких энергиях155

ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА В ЯДЕРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

РОДЬКО И.И., МАКСИМКИН А.И., ПАНАСЕНКО Р.А.

Научные руководители – КУДРЯВЦЕВ Е.М., д.ф.-м.н., профессор

ХАЛФИН Т.М., старший преподаватель

Стенд для проверки уран-оксидных покрытий радиаторов камер
деления на стойкость к воздействию вибрации157

Именной указатель авторов статей160

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А.Н. ЮСУПОВ

Научный руководитель – А.В. ОРИЩЕНКО, к.ф.-м.н., доцент
Дмитровградский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В работе предлагаются пути развития радиоизотопных источников энергии и приведены области, в которых они будут востребованы. Так же представлен обзор литературных источников по нескольким направлениям: история развития; современные достижения в разработке и использовании радиоизотопных источников энергии; пути развития данной отрасли.

В гонке технологий человечество ищет всё новые и новые источники энергии, которые могли бы удовлетворить производственные и бытовые нужды, быть безопасными и не требовать ресурсов для своей работы. Для получения электрической энергии удобнее всего было пользоваться тепловой, используя довольно легкий процесс: от нагревания рабочее тело перемещается, вращает генератор и производит электричество. Для этого человечество использовало пар, нагретый воздух или углеводородное топливо, каждый из которых нашел своё применение в паровых двигателях, двигателях Стирлинга и двигателях внутреннего сгорания.

Мало кто задумывался о возможности использования других схем, которые не основываются на работе парового механизма, пока в конце 50-х годов потребность в таких схемах не возникла.

Первые космические корабли нуждались в обогреве, а отправлять на орбиту АЭС было слишком тяжело и неэкономично. Использовать в космосе традиционные технологии сжигания углеводородов с использованием кислорода в качестве окислителя, – также нереально из-за их небольшого КПД, по отношению к массе перемещаемого топлива и оборудования. Ученые пришли к выводу, что использовать огромную теплоёмкость изотопов плутония и урана, дающих энергоёмкость в пятьдесят раз выше,

чем обычные аккумуляторы, будет лучшим решением для развития космонавтики [1].

Первыми в этой области продвинулись американцы, создавшие для своих зондов вспомогательные ядерные энергетические установки SNAP, вскоре подобные технологии были разработаны в СССР. «Луноход-1» обогревался с помощью радиоизотопных термоэлектрических генераторов РИТЭГ.

В настоящее время с развитием и ростом ядерной энергетики цены на важнейшие генераторные изотопы быстро падают, а производство изотопов быстро возрастает, что и предопределяет расширение радиоизотопной энергетики [2].

Актуальность данного вопроса обусловлена тем, что человечеству нужны источники энергии, которые применяются там, где необходимо обеспечить автономность работы оборудования, значительную надёжность, малый вес и габариты. В настоящее время основные области применения – это космос (спутники, межпланетные станции и др), глубоководные аппараты, удаленные территории (крайний север, открытое море, Антарктика). Существующие области применения [2]:

Межпланетные зонды: Электротеплопитание космических аппаратов.

Медицина: электропитание электрокардиостимуляторов и др.

Энергопитание маяков и бакенов.

Перспективные области применения [2]:

Роботы-андроиды: Электротеплопитание. Как основной источник энергии.

Боевые лазеры космического базирования: Накачка лазеров и электротеплопитание. Боевые машины: Мощные двигатели с большим ресурсом (беспилотные разведывательные аппараты – самолеты и мини-лодки, энергопитание боевых вертолетов и самолетов, а также танков и автономных пусковых установок).

Глубоководные гидроакустические станции: длительное энергопитание невозвращаемых аппаратов.

Список литературы

1. И.Н. Бекман. Ядерная индустрия. Курс лекций. М. – 2005. – 21с.
2. Радиоизотопные источники энергии // Академик // URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/174752> (дата обращения: 02.09.14)

И.Н. КРИВОШЕИН, А.А. ЖАВОРОНКОВА

Научные руководители – М.Ю. ТЕРНОВЫХ

Г.В. ТИХОМИРОВ, к.ф.-м.н., доцент

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

НЕЗАВИСИМОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КОДА CONSYST И БИБЛИОТЕК БНАБ-93 И БНАБ-РФ В РАМКАХ ПРОЕКТА «ПРОРЫВ»

Приведены первые результаты независимого тестирования кода CONSYST. Предварительно подтверждена возможность достижения заявленных разработчиками точностей расчета нейтронно-физических характеристик. Высказаны рекомендации для эффективного обеспечения отчуждаемости кода.

CONSYST – программа константного обеспечения расчётов нейтронных полей в активных зонах реакторов различного типа [1]. Она способна подготовить константы среды для проведения расчётов нейтронных полей в 26,28,299-ти и любом промежуточном числе энергетических групп. Предполагается, что CONSYST с библиотекой БНАБ-РФ может стать базовой программой константного обеспечения нейтронно-физических расчетов быстрых реакторов.

В мировой практике присутствуют несколько этапов тестирования программных средств (ПС). МАГАТЭ рекомендует проводить оценку ПС, предназначенных для комплексного анализа безопасности, в два этапа: первый выполняется разработчиками ПС, второй – независимой от разработчиков командой (SSR-2/1, 2012). Комиссия по ядерному регулированию США (USNRC) дополнительно к процедуре экспертизы ПС оставляет за собой право проводить независимые расчетные оценки представленных на экспертизу обоснований применимости ПС (NUREG-0800 15.0.2). Дать всестороннюю оценку всем характеристикам ПС в рамках процедуры аттестации Ростехнадзора невозможно. Желательно проводить независимое тестирование кодов на базе университетов с участием аспирантов и студентов.

Независимое тестирование CONSYST в НИЯУ МИФИ было начато группой, в которую вошли студенты старших курсов, имеющих опыт работы с программами константного обеспечения [2]. Первый этап – анализ комплектности и работоспособности замороженной версии кода – показал, что CONSYST позволяет без особых дополнительных процедур осуществить запуск тестовой задачи из комплекта, версия кода

работоспособна (несколько сотен испытаний) и может быть использована для константного обеспечения расчёта моделей РУ БН-1200 и критической сборки БФС-82-2А.

Второй этап тестирования – анализ возможности достижения заявленных разработчиками CONSYST точностей расчёта некоторых нейтронно-физических характеристик: коэффициента размножения, температурного коэффициента реактивности и пустотного эффекта по плотности натрия. Для тестирования использовался комплекс SCALE [3] с библиотекой 238ENDFBV. В табл. 1 приведены некоторые результаты для трех тестовых вариантов (U+Pu)N топлива БН.

Таблица 1. Коэффициент размножения рассмотренных вариантов

Вариант	ABBN-78	ABBN-93	ABBN-RF	SCALE
1	1.174	1.170	1.154	1.161
2	1.204	1.200	1.184	1.191
3	1.233	1.229	1.213	1.221

Предварительное тестирование и сравнение с результатами расчетов по зарубежным аналогам позволяет надеяться, что код CONSYST и библиотеки многогрупповых констант БНАБ-93 и БНАБ-РФ могут подтвердить точности рассчитываемых величин, приведенных в техническом задании. Особо хочется отметить, что по реализованным алгоритмам и функциональным возможностям CONSYST не проигрывает своему зарубежному аналогу. Однако, для отчуждаемости кода требуется более подробное описание и комплект примеров решения тестовых задач.

Предполагается, что следующим этапом независимого тестирования кода CONSYST станет расчет по программе ММК моделей РУ БН-1200 и критической сборки БФС-82-2А.

Список литературы

1. Николаев М.Н., Цибуля А.М., Цикунов А.Г., Мантуров Г.Н. Комплекс программ CONSYST/ABBN- подготовка констант БНАБ к расчётам реакторов и защиты. Отчёт по НИР. Обнинск, 1998. 78с.
2. Сорокин Д.В., Кривошеин И.Н., Апсэ В.А., Терновых М.Ю. Нейтронно-физический расчётный анализ эффективности использования свинца-208 в качестве теплоносителя в быстрых реакторах. - XVII-я Межд. телеком. конф. "МОЛОДЁЖЬ И НАУКА". М.: НИЯУ МИФИ, 2014, Ч.1, С.15-16.
3. SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, NUGER/CR-0200, Rev. 4 (ORNL/NUGER/CSD-2/R4), Vols I,II, and III (draft November 1993). Available from Radiation Shielding Information Center as CCC-545.

С.М. ГОЛОЛОБОВ

Научный руководитель – А.А. СЕМЕНОВ, к.ф.-м.н.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ АЭС В МАНЕВРЕННОМ РЕЖИМЕ СОВМЕСТНО С ГАЭС И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Проведен анализ возможных стратегий эксплуатации атомной электростанции в маневренном режиме совместно с гидроаккумулирующей электростанцией. При решении задачи была применена технология параллельных вычислений.

В сфере атомной электроэнергетики существует несоответствие между графиком выработки электроэнергии на атомной электростанции (АЭС) и суточным графиком электропотребления. Нивелировать это несоответствие можно путем эксплуатации АЭС в маневренном режиме или введении в энергосистему гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). Благодаря особенностям и эффективности ГАЭС, её можно эффективно использовать в качестве инструмента компенсации неравномерности суточного энергопотребления [1].

На текущее время возможности эксплуатации АЭС в маневренном режиме используются далеко не в полной мере или же и вовсе не используются. Однако доля электроэнергии, генерируемой на всех АЭС, в энергобалансе России составляет на сегодня 17%, а к 2030 году вырастет до 25-30% [2]. В связи со все возрастающей долей атомной энергетики объективно возрастают важность и актуальность вопроса об эксплуатации АЭС в маневренных режимах.

В рамках данной работы были исследованы возможности эксплуатации АЭС в маневренном режиме совместно с ГАЭС.

Далее описана рассмотренная стратегия эксплуатации комплекса. В течение кампании суточный график мощности АЭС повторяет суточный график энергопотребления до тех пор, пока имеющийся запас реактивности реактора позволяет избегать остановок при накоплении ксенона-135 (^{135}Xe) в периоды снижения мощности реактора. В конце кампании запаса реактивности становится недостаточно для того, чтобы выдерживать прежний график энерговыработки. В этот момент вместо того, чтобы останавливать реактор, и уходить на перегрузку топлива, продолжается обеспечение энергопотребления благодаря использованию ГАЭС. Такой режим работы выдерживается до момента полного исчерпания запаса ре-

активности. При этом в моменты суточного снижения энергопотребления избыток энергии от АЭС передается ГАЭС, а в пиковые часы с ГАЭС отдается в энергосистему. Такая стратегия позволяет увеличить длительность кампании АЭС благодаря достижению более глубокого выгорания ядерного топлива.

Целью суточной задачи управления комплексом является определение оптимальных графиков мощности АЭС и мощности ГАЭС в течение суток в маневренном режиме работы АЭС с задействованием ГАЭС. При этом оптимальное управление должно быть таковым, чтобы потери энергии при передаче на ГАЭС, или от ГАЭС, были минимальны, и чтобы при этом не допустить остановки реактора из-за эффекта йодной ямы – всплеска отравления реактора ксеноном (^{135}Xe), что приводит к провалу реактивности, при снижении мощности реактора [3].

Задача решалась в точечной модели реактора при наличии обратных связей по концентрации ксенона (^{135}Xe) и по мощности реактора. Для решения был выбран метод динамического программирования, основанный на принципе Р. Беллмана [4], как наиболее общий метод решения данной задачи.

Разработанный алгоритм позволяет получать оптимальное управление в виде графиков суточного изменения мощностей АЭС и ГАЭС в зависимости от запаса реактивности. Алгоритм был реализован на высокоуровневом языке программирования Python. В связи с трудоемкостью задачи, для увеличения скорости расчетов код был перенесен на язык программирования C++ и была применена технология параллельных вычислений, что позволило сократить время расчетов до приемлемого уровня.

Разработанный и реализованный алгоритм позволяет получать управления для эффективной эксплуатации комплекса из АЭС и ГАЭС.

Список литературы

1. Шульгинов Р.Н. Комплексная оценка эффективности функционирования гидроаккумулирующих электростанций на энергетическом рынке / Шульгинов Р.Н., Малинина Т.Н. -Санкт-Петербург: СПбГПУ – 2014.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года.// Прил. к обществ.-дел. журн. «Энергетическая политика» - М.: ГУ ИЭС, 2010. – 184 с.
3. Дементьев Б.А. Ядерные энергетические реакторы: Учебник для вузов / Дементьев Б.А. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
4. Шевченко В.Н., Коган Д.И. Динамическое программирование и дискретная многокритериальная оптимизация: Учебное пособие / Шевченко В.Н., Коган Д.И. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского ун-та, 2004. - 150 с.

С.Н. НИКИТИН, Д.П. ШОРНИКОВ, Б.А. ТАРАСОВ
Научный руководитель – В.Г. БАРАНОВ, к.ф.-м.н., профессор
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ТВЭЛ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ ДЛЯ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Данная работа посвящена повышению эксплуатационных характеристик ТВЭЛов с высокоплотным металлическим ядерным топливом для реакторов на быстрых нейтронах за компенсации газового распухания и повышения совместимости топлива с материалами оболочки.

Реакторы БН эксплуатируются при весьма больших энерговыделениях активной зоны, температура на поверхности ТВЭЛа достигает 600–700°C. В этой связи, можно сформулировать одно из ключевых требований к топливному материалу, а именно, он должен обладать высокой теплопроводностью, что позволяет достигать высоких температур на оболочке и исключить плавление топлива. Также важнейшим параметром является плотность, т.к. за счет этого достигается возможность расширенного воспроизводства. Наличие облученного топлива предъявляет особые требования к дистанционированию процесса, замена водных химических процессов на пирометаллургические, исключению «пылящих» стадий.

Наиболее подходящим видом ядерного топлива для реакторов на быстрых нейтронах являются металлические сплавы урана и плутония с цирконием или молибденом, что связано с уникальным набором физико-химических свойств: высокой плотностью ($>17 \text{ г/см}^3$), высокой теплопроводностью (20-40 Вт·м/К), простотой переработки ОЯТ, основанной на традиционных металлургических методах, возможностью достижения сверхглубоких выгораний 200 ГВт·сут/т. [1]. Основные причины, сдерживающие внедрение указанных композиций, является значительное газовое распухание, быстро приводящее топливо в плотный контакт с металлической оболочкой, что способствует диффузионному взаимодействию топливо-оболочка и возможность образования низкоплавких эвтектик с элементами, входящими в состав оболочки ТВЭЛа (например, с Fe).

Поэтому целью данной работы является поиск и разработка методов снижения распухания и повышения совместимости высокоплотного металлического ядерного топлива для реакторов на быстрых нейтронах.

Существующая технология производства ТВЭЛа методом литья не обеспечивает высоких эксплуатационных параметров. Перспективным

методом компактирования таблеток из сплавов урана является высоко-вольтное электроимпульсное прессование, в ходе которого к порошку одновременно прикладываются давление и пропускается электрический разряд. Метод позволяет значительно ускорить процесс. Для компенсации газового распухания предложено использовать топливо со средней плотностью 70-85 %, полученное методами порошковой металлургии [2].

Существует несколько путей повышения совместимости ядерного топлива: легирование топлива; легирование материала оболочки; нанесение защитных покрытий. Очевидно, что для решения проблемы совместимости необходимо использовать комплексный подход, который заключается в легировании топлива элементами, повышающими температуру плавления и снижающими распухание (такими элементами являются цирконий и молибден). Однако, легирование цирконием не исключает распухание и даже аксиальный рост, а также под облучением происходит перераспределение компонентов в топливе. По-видимому, лучшие результаты могут быть получены при легировании топлива молибденом для стабилизации γ -фазы. За счет более высокой стабильности под облучением, а также более низкой диффузионной подвижности можно ожидать отсутствие миграции компонентов топлива. Помимо легирования топлива, необходимо легирование оболочки ТВЭЛа для повышения радиационной стойкости материала, повышения жаропрочности, снижения ползучести, повышение коррозионной стойкости в металлических теплоносителях и снижение диффузионного взаимодействия топливного и конструкционного материалов (в этом качестве, например, рассматривают ферритные стали, легированные алюминием до 6 мас. %). Легирование алюминием стали открывает возможность получения *in-situ* покрытий на поверхности оболочки из коррозионностойкой стали путем ее оксидирования или азотирования. Азотирование и оксидирование представляют более простой и технологичный метод, по сравнению с плазменной обработкой внутренней поверхности труб, электрохимией, искровым разрядом. Предварительные испытания на совместимость металлического ядерного топлива с оболочками их хромистой стали с нанесенным *in-situ* покрытием показали отсутствие взаимодействия до температуры 850°C.

Список литературы

1. G. L. Hoffman, L. C. Walters, and T. H. Bauer, *Metallic Fast Reactor Fuels Progress in Nuclear Energy*, Vol.31, No.1/2, pp. 83-110, 1997.
2. Д.П. Шорников, В.Г. Баранов, Б.А. Тарасов, С.Н. Никитин, М.А. Бурлакова, Порошковая металлургия при получении металлического ядерного топлива // *Цветные металлы*, №12, 2014.

И.Н. КРИВОШЕИН

Научный руководитель – М.Ю. ТЕРНОВЫХ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

3-D МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫГОРАНИЯ В БЫСТРЫХ РЕАКТОРАХ

Представлены результаты выбора фактора утечки при моделировании выгорания ТВС быстрых реакторов в комплексе SCALE. Показано, что полученное значение может быть рекомендовано для моделирования широкого круга задач с погрешностью в рамках неопределенностей эксплуатации ТВС.

Совершенствование константного обеспечения программного комплекса SCALE[1]открывает дополнительные возможности его использования для расчетов быстрых реакторов. В комплексе реализована возможность 3-D моделирования выгорания топлива. Управляющая цепочка TRITONиспользует для подготовки констант уравнений выгорания модуль транспортных расчетов методом дискретных ординат в 2-D геометриях с возможностью учета утечки нейтронов через торцы системы. Торцевая утечка в группе вычисляется как $B^2 \bullet D \bullet \psi$, где $B^2 = (\pi/Z)^2$, D – коэффициент диффузии, ψ – поток нейтронов в системе. Расстояние до экстраполированной границы $Z = DZ + BF \bullet \lambda_{tr}$, где DZ – высота топливной части твэл, BF – фактор утечки, $\lambda_{tr} = 1/\Sigma_{tr}$ – транспортная длина свободного пробега.

Особенностью активных зон быстрых реакторов является относительно небольшая высота по сравнению с радиусом. Это обстоятельство требует корректного выбора величины фактора утечки. Рекомендованное в SCALE по умолчанию значение $BF=1,42$ может быть аналитически получено в односкоростном приближении для толстых пластин и достаточно хорошо работает при расчетах ТВС ВВЭР. Целью данной работы было получить значение фактора утечки, которое можно было бы рекомендовать для корректного 3-D моделирования выгорания для широкого круга топливных композиций ТВС быстрых реакторов.

Для получения реальных трехмерных распределений в моделях ТВС реактора типа БРЕСТ использовалась программа KENOVI из комплекса SCALE с той же библиотекой сечений, что и TRITON. Учитывалось наличие слоев свинца на торцах ТВС. Рассматривались топливные композиции UO_2 , UN, $(U+Pu) O_2$, $(U+Pu) N$, изучавшиеся в работе [2]. Подбор значения фактора утечки для TRITON выполнялся по наибольшему согласию

коэффициентов размножения ТВС со свежим топливом и профилей утечки из ТВС. В результате было выбрано значение $BF=8,7$. В табл. 1 представлены отклонения коэффициентов размножения ($\Delta K/K$), получаемые с выбранным значением BF по TRITON, от рассчитанных по реальным 3-D моделям. В табл. 2 приведена неопределенность изотопного состава ($\Delta m/m$) при выгорании 80 МВт•сут/кг, связанная с выбором фактора утечки.

Таблица 1. Значения $\Delta K/K$ при моделировании утечки, %

Топливо	(U+Pu)N	(U+Pu)O ₂	UO ₂	UN
Без утечки	0.07	0.02	0.03	0.13
$BF=1,42$	0.01	0.01	0.01	0.11
$BF=8,7$	0.28	0.13	0.06	0.17

Таблица 2. Значения $\Delta m/m$ при моделировании утечки, %

Топливо	(U+Pu)N	(U+Pu)O ₂	UO ₂	UN
²⁴² Pu	5.1	6.3	7.5	6.2
²³⁷ Np	4.3	5.4	1.7	1.0
²⁴⁴ Cm	9.1	11.0	11.1	9.4

По результатам работы можно заключить, что полученное значение фактора утечки может быть использовано для корректного моделирования в комплексе SCALE выгорания в ректорах типа БРЕСТ для широкого круга топливных композиций с погрешностью в рамках неопределенностей эксплуатации ТВС[3].

Список литературы

1. SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, NUGER/CR-0200, Rev. 4 (ORNL/NUGER/CSD-2/R4), Vols I,II, and III (draft November 1993). Available from Radiation Shielding Information Center as CCC-545.
2. Сорокин Д.В., Кривошеин И.Н., Алсэ В.А., Терновых М.Ю. Нейтронно-физический расчётный анализ эффективности использования свинца-208 в качестве теплоносителя в быстрых реакторах. - XVII-я Межд. телеком. конф. "МОЛОДЁЖЬ И НАУКА". М.: НИЯУ МИФИ, 2014, Ч.1, С.15-16.
3. Тихомиров Г.В., Терновых М.Ю. // Научная сессия МИФИ-2009. Сборник научных трудов. М., Т. II – 2009. – С.9-12.

А.А. КОВАЛЬ

Научный руководитель – В.А. УЗИКОВ¹

*Дмитровградский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ
ОАО «ГНЦ НИИАР»*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БАРАБАНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

В данной работе проведён сравнительный анализ методов обращения с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО) и предложена инновационная технология на основе термического метода переработки, заключающаяся в испарении тонких плёнок с поверхности вращающегося барабана, частично заполненного выпариваемым раствором. Показана возможность реализации данной технологии на основе трехуровневой схемы упаривания, для достижения наиболее эффективного и экономичного использования тепловой энергии.

Одной из важнейших проблем ядерной энергетики является проблема обращения с ЖРО. Во время переработки, например, на АЭС, ЖРО упариваются до состояния кубового остатка с солесодержанием 150-300 г/л, который затем поступает в специальные ёмкости для хранения. По мере заполнения этих емкостей приходится решать проблему переработки накопившегося кубового остатка, т.е. перевода его в твердое агрегатное состояние с использованием установок глубокого упаривания УГУ-500.

Основной трудностью при упаривании ЖРО является образование отложений солей жесткости и взвесей на греющих поверхностях выпарного аппарата, что приводит к снижению его производительности. При борьбе с этим используют периодическую химическую отмывку, что приводит к образованию вторичных ЖРО. Эта проблема существенно снижается при использовании испарения с поверхности при температуре ниже кипения. Данный метод применяется в ротационных испарителях, широко используемых в качестве лабораторного оборудования. На основе их физических принципов работы в [2] предложено использование барабанных плёночных испарителей (БПИ), особенностью которых является непрерывный процесс работы и очистка греющих поверхностей от солевых отложений в процессе упаривания. Этот аппарат представляют собой горизонтальный вращающийся барабан, частично заполненный выпариваемым раствором. К корпусу барабана подводится тепловая энергия, обеспечивающая испарение растворителя (воды) с внутренних смачиваемых стенок барабана и

образование вторичного пара. Наиболее эффективное и экономичное использование тепловой энергии при максимальной производительности будет обеспечиваться при трехуровневой схеме упаривания, когда вторичный пар, произведенный в одной ступени становится греющим паром для следующей ступени. Данную технологию можно использовать как альтернативу существующим выпарным аппаратам, в которых в качестве источника энергии используется греющий пар, вырабатываемый предприятием «на собственные нужды» с давлением 0,6 МПа.

В тепловом гидравлическом коде RELAP5/MOD3.2 [3] была создана модель предлагаемой выпарной установки для оценки эффективности технологии. На основе этой модели изучено влияние геометрических характеристик барабанов, параметров греющего и условий конденсации вторичного пара на производительность установки в целом. Расчет производительности установки с тремя барабанами диаметром 1,5 м и длиной 6 м при трехуровневой схеме подключения показывает, что при непрерывной работе в течение года будет переработано примерно 15 000 м³ ЖРО. В коде RELAP5/MOD3.2 смоделирован алгоритм управления технологическими параметрами и материальными потоками. Показана возможность непрерывной и стабильной работы установки в течение длительного времени. При рассмотрении предложенной технологии с точки зрения экономико-математической модели [4], позволяющей оценивать оптимальность вариантов переработки радиоактивных отходов (РАО) по конечному объему и соответствующей стоимости сделан вывод о высокой эффективности ее реализации на базе трехуровневых БПИ с дополнительным компактным блоком цементирования.

Применение трехуровневых БПИ, как основной выпарной установки ЖРО на АЭС дает ряд преимуществ: непрерывный цикл работы, практически полное отсутствие вторичных ЖРО, очистка греющих поверхностей от солеотложения во время работы, минимальные дозовые нагрузки на персонал, простота эксплуатации и высокая эффективность установки.

Список литературы

1. Никифоров А. С., Куличенко В. В., Жихарев М. И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Узиков В.А., Кочнов Я.К, Осипова Н.Е., Узикова И.В., Патент РФ № 2488421 «Способ концентрирования жидких растворов».
3. RELAP5/MOD3 CODE MANUAL VOLUME II: APPENDIX A INPUT REQUIREMENTS. Washington, 1999.
4. Маслов М. В., Гупало В.С., Чистяков В.Н. Исследование схем обращения с накопленными радиоактивными отходами в целях их подготовки для окончательной изоляции// Горный информационно аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - М.: 2012. - №1, - С. 160-164.

Ш.А. ГУРБАНОВА

Научный руководитель – Н.Л. ХАРИТОНОВА¹, к.т.н.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

¹ФБУ «Научно-технический центр по ядерной безопасности», Москва

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО РАСТВОРИМОСТИ НЕКОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ГАЗОВ В ВОДЕ И ПАРЕ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

Выполнен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных по константам Генри для неконденсирующихся газов (кислорода, водорода, азота, гелия и ксенона) при повышенных температурах и давлениях.

При расчетном обосновании безопасности водо-водяных реакторных установок, в первую очередь, при моделировании нестационарных нейтронно-физических и теплогидравлических процессов, протекающих при нарушении условий нормальной эксплуатации и при авариях, следует учитывать процессы растворения и дегазации неконденсирующихся газов в водном теплоносителе. Для решения практических задач определения растворимости используются соотношения, базирующиеся на константе Генри. Константа Генри (K_H) определяется в общем случае, как:

$$K_H = \lim (f_2/x_2) \text{ при } x_2 \rightarrow 0$$

где f_2 - фугитивность растворенного газа в жидкой фазе; x_2 – мольная доля растворенного газа в паровой фазе, находящейся в равновесии с водной фазой.

Данные по растворимости инертных газов, представленные в работе [1], обобщают экспериментальные данные по растворимости инертных газов в воде в области температур до 316°C, опубликованные до 1960г. В [1] предполагается, что концентрация растворенного газа в водном растворе пропорциональна парциальному давлению этого газа в паровой фазе, находящейся в равновесии с этим раствором (закон Генри) и рекомендуется формула для расчета констант Генри:

$$K_H = a + b \cdot \frac{1}{T} \quad (1)$$

где, a , b - константы корреляции для высоких температур.

Международной ассоциацией по свойствам воды и водяного пара (МАСВП) в 2006 г. приняты рекомендации по константам Генри газов (k_H) в широком диапазоне температур [2]:

$$\ln\left(\frac{k_H}{p_1^*}\right) = \frac{A}{T_R} + \frac{B_1^{0.222}}{T_R} + C(T_R)^{-0.41} \exp(\tau), \quad (2)$$

где, $\tau = 1 - T_R$, $T_R = T/T_{c1}$, T_{c1} – критическая температура воды (647.096K), p_1^* – давление паров воды при соответствующей температуре, рассчитываемое по формуле Вагнера-Прусса [3]. Хотя константа Генри (k_H) может быть определена при любых параметрах состояния, однако в [2] рассматриваются только состояния на линии насыщения, т.е. предполагается, что k_H зависит только от температуры, а давление соответствует давлению равновесного насыщенного пара. Критическое давление воды, рекомендованное в [2], составляет 22.064 МПа.

Сравнение констант Генри, рассчитанных по рекомендациям [1] и МАСВП [2] в зависимости от температуры при давлении насыщенного пара для водорода, кислорода, азота, гелия и ксенона, выполнено на рисунках 1 и 2. На этих рисунках сплошными линиями показаны значения, констант Генри, рассчитанные по формуле (1) [1]. Пунктиром показаны результаты расчетов по рекомендациям МАСВП (формула (2)) [2]. Рекомендации МАСВП [2] справедливы для H_2 в области температур до 363°C, для O_2 до 343°C, N_2 до 363°C, He до 280°C, Xe до 302°C.

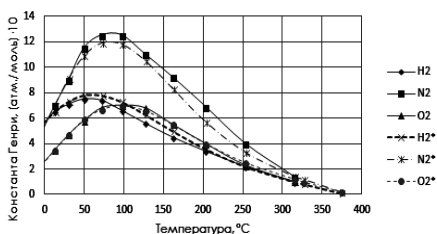


Рис 1. Зависимость констант Генри для водорода, кислорода, азота от температуры при давлении насыщенного пара по рекомендациям [1, 2]

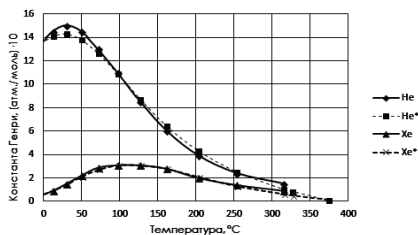


Рис 2. Зависимость констант Генри для гелия и ксенона от температуры при давлении насыщенного пара по рекомендациям [1, 2]

Список литературы

1. Himmelblau D.N. Solubilities of Inert Gases in Water, Journal of Chemical Engineering Data, 1960, v.5., p.10-15.
2. IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam), Release on Values of Henry's Constants and Vapor-Liquid Distribution Constants for Gaseous Solutes in H₂O and D₂O at High Temperatures, Fernández-Prini, R., Alvarez, J., and Harvey, A.H.J. *Phys. Chem. Ref. Data*, 32, 903-916 (2003).
3. Wagner, W., and Pruss, A., International Equations for the Saturation Properties of Ordinary Water Substance. Revised According to the International Temperature Scale of 1990., *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 22, 783-787 (1993).

И.А. ЕЛЬНИКОВ

Научный руководитель – В.Н. КОНЕВ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОМОГЕННОГО СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ВПРЫСКА ТОПЛИВ

Предлагаемая реализация гомогенного смесеобразования позволит улучшить показатели экономичности двигателей и устройств с камерой внутреннего сгорания, а также радикально повысить показатели экологичности.

Сегодня над реализацией гомогенного смесеобразования в системах впрыска топлив бьются многие ведущие производители двигателей, но не могут справиться с неконтролируемым самовоспламенением топлива [1]. Реализация гомогенного смесеобразования приведет к улучшению показателей экономичности двигателей и устройств с камерой сгорания, радикальному улучшению показателей экологичности, обеспечению норм EURO-6 для автомобильных двигателей без постобработки отработавших газов. Вопрос остается в организации впрыскивания топлива – нужно впрыскивать необходимое количество топлива с наилучшим распределением по объему, наименьшей мелкостью капель, обеспечить непопадание капель топлива на стенки цилиндра/камеры сгорания, обеспечить полное испарение топлива. Отсутствие при этом неконтролируемого воспламенения в нем авторами уже численно и теоретически обосновано. Авторы планируют провести эксперименты по смесеобразованию (впрыскивание топлива в бомбу постоянного объема с необходимым давлением и температурой), отладить численную модель, на основе численных исследований, провести оптимизацию геометрии проточной части форсунки, изготовить форсунку, провести контрольный эксперимент, доработать прототип двигателя для возможности установки форсунки и соответствующей топливopодающей системы, провести эксперименты на двигателе.

Список литературы

1. Zhao, Fuqian; Thomas W. Asmus; Dennis N. Assanis; John E. Dec; James A. Eng; Paul M. Najt (2003). Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engines: Key Research and Development Issues. Warrendale, PA, USA: Society of Automotive Engineers. pp. 11–12. ISBN 0-7680-1123-X.

Е.С. МАРКОВА

Научный руководитель – М.И. ФРОИМСОН, аспирант
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ СЕПАРАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МУСОРА

Авторами статьи предлагается подход к моделированию плазмохимических реакторов сепарации твердых бытовых отходов в газообразной форме, а также прототип и масштабный проект установки по сепарации отходов.

Каждый год в России территория под свалки увеличивается на площадь, равную Москве и Санкт-Петербургу вместе взятым. Мусорные свалки в России уже занимают пространство, вдвое большее, чем Крым. Некоторые государства уже перерабатывают до 70% отходов, в то время как у нас – меньше 5%. [1]

В РФ сегодня развиваются методы газификации бытовых отходов [2], имеющие ряд недостатков. Конечным продуктом данных технологий, помимо синтез-газа, является шлак, мало пригодный для использования и не несущий коммерческой ценности. В то же время существует ряд технологий [3], позволяющих избежать спекания отходов в шлак и произвести их сепарацию. Но все эти технологии требуют точного расчета процессов в плазмохимическом реакторе, выполнить которые возможно только численными методами.

Набирающий популярность метод газификации твердых бытовых отходов (ТБО) может быть существенно доработан: проведение численного моделирования и оптимизация параметров реактора позволят разделить на выходе шлак и металлическую компоненту отходов. Поэтому предлагается провести модернизацию существующих проектов по газификации ТБО с целью выделения чистых металлов из отходов, а также разработать с нуля прототип и масштабный проект установки по сепарации отходов.

Список литературы

1. Проблема отходов. Гринпис России, 2014. URL: <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/waste>.
2. Плазма ХИТ. URL: plasmahit.ru.
3. Plasma arc decomposition of hazardous wastes into vitrified solids and non-hazardous gases. US 5541386 A. 1996.

ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

М.Г. ГЕТМАНЕЦ

Научный руководитель – Н.С. ЩЕРБАКОВА, аспирант
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

АНАЛИЗ РИСКОВ В НОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Рассмотрены возможные риски при реализации новой технологической платформы атомной отрасли.

Одной из ключевых причин долгосрочных циклов экономического развития является процесс формирования и смены технологических платформ [1].

Под технологической платформой понимается коммуникационный инструмент, направленный на активизацию усилий по созданию перспективных коммерческих технологий, новых продуктов (услуг), привлечение дополнительных ресурсов для проведения исследований и разработок при участии всех заинтересованных сторон - бизнеса, науки, государства, гражданского общества, совершенствования нормативно-правовой базы в области научно-технологического и инновационного развития [2].

За счет внедрения новой технологической платформы (НТП) на базе замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) с реакторными установками на быстрых нейтронах атомная энергетика станет более безопасной, что также позволит сократить затраты на создание и эксплуатацию специальных хранилищ отработанного ядерного топлива.

Рассмотрев возможные риски были сделаны следующие выводы:

□ Так как разрабатываемые в рамках технологической платформы технологии отсутствуют на российском рынке и востребованы атомной промышленностью, то угрозы прекращения спроса на продукцию технологической платформы российского производства внутри страны не предвидятся.

□ Сопоставив позиции России и зарубежных стран в области формирования НТП на базе ЗЯТЦ очевидно объективное лидерство по уровню

развития перспективных ядерных технологий и компетенций в области их экспериментального и коммерческого использования.

- Но при этом остаются риски реализации НТП в случае [3]:
 - Прекращения (уменьшения) инвестиций инновационного проекта;
 - Угрозы ограничения (прекращения) поставок из-за рубежа ключевых материалов, комплектующих и т.п. для производства продукции технологической платформы;
 - Утечки конфиденциальной информации со стороны персонала или хакерских атак;
 - Природных катаклизмов (землетрясения, крупные наводнения, циклоны).

Список литературы

1. Реализация новой технологической платформы - неизбежное условие развития российской атомной энергетики: [Электронный ресурс] // Интеллектуальная Россия. http://www.intelros.ru/intelros/reiting/rejting_09/material_sofiy/8753-realizaciya-novoj-technologicheskoy-platformy-neizbezhnoe-uslovie-razvitiya-rossijskoj-atomnoj-yenergetiki.html
2. О формировании технологических платформ РАН и включении инновационных разработок РАН в группы технологий национальных технологических платформ: [Электронный ресурс] // Российская Академия Наук (РАН). http://www.ras.ru/committee_of_directors/meetingdecisions.aspx?ID=7795291a-4348-492b-b2a5-12454630add1
3. О формировании технологической платформы: [Электронный ресурс] // ОАО «Роснано» <http://edu-reestr.rusnano.com/ProgramDocuments>

А.Н. ЮСУПОВ

Научный руководитель – А.В. ОРИЩЕНКО, к.ф.-м.н., доцент
Дмитровградский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ

НЕЙТРОННЫЙ ДОЗИМЕТР, БЕЗ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ, В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ, НА БАЗЕ ПОЛИМЕРНОГО ТРЕКОВОГО ДЕТЕКТОРА CR-39

В работе предлагается метод регистрации нейтронного излучения с помощью полимерного трекового детектора CR-39. Были описаны плюсы и минусы использования трековых детекторов, физические процессы, происходящие в трековом детекторе при прохождении через него нейтрона, описаны методика обработки детектора после облучения.

Актуальность исследования, проводимого по выше заявленной теме, обусловлена требованиями повышения радиационной безопасности при работе персонала в условиях облучения промежуточными и быстрыми нейтронами, поскольку в этой области энергии нейтронов излучение обладает наиболее высоким уровнем биологической опасности со взвешивающим коэффициентом 10-20, и контроль над таким облучением необходим с обеспечением максимальной надёжности и достоверности. Такими качествами и обладает метод регистрации нейтронов полимерным трековым детектором типа CR-39.

Взаимодействие нейтронов с веществом полимерных материалов приводит к образованию ядер отдачи и вторичных достаточно высокой энергии электронов, ионизирующих и возбуждающих атомы вещества. В полимерах, где основную долю элементов вещества составляет водород, такими ядрами отдачи являются – протоны. Образованные ядрами отдачи дефекты структуры вещества полимера образуют скрытые (латентные) следы – треки, выявление которых осуществляется химическим травлением.

Сталкиваясь с ядром атома водорода в материале полимера, нейтрон испытывает упругое рассеяние. Нейтроны, которые испытывают лобовое столкновение с ядром водорода в полимере, вследствие близости масс, $M_n \approx M_p$, передают протону максимальную энергию $E_{n'} \approx E_n$ и при этом угол вылета ядра отдачи – протона составит с направлением движения нейтрона до столкновения величину $\Psi \approx 0$, т. е. протон будет двигаться в том же

направлении, что и первоначально двигался нейтрон. Такая кинематика рассеяния протона приведёт к образованию округлого трека, а «косое» рассеяние – к образованию неокруглого трека, что позволяет селективно выбирать протоны, получившие при рассеянии максимальную энергию. Химическое травление облучённых полимерных детекторов CR-39, – терморезистивного поликарбоната ADC (allyldiglycolcarbonate – аллилдигликолькарбонат), проводилось по методике «продлённого» травления, основанной на стандартных приёмах и рекомендациях, хорошо зарекомендовавших себя на протяжении длительного периода использования таких детекторов [1].

В работе [1] показана однозначность полученных величин энергии и предлагается использовать полимерный трековый детектор типа CR-39 для определения эквивалентной дозы нейтронного облучения в области энергий от 200 кэВ до 4 МэВ. Предлагаемый метод позволяет надёжно установить значение эквивалентных доз в интервале ~ 2 мЗв – несколько Зв.

В настоящее время регистрация нейтронов сводится к тому, что проводится измерение количества частиц с помощью счетчиков. Это приводит к необходимости обслуживания данных счетчиков.

К тому же, их применение ограничено во времени, им требуется источники питания. Предлагаемый метод не требует всего этого. К тому же, счетчики не дают представление об энергиях регистрируемых частиц, в отличие от метода с применением трековых детекторов.

За реализацию данного метода говорит и низкая стоимость материалов. Устойчивость к сопутствующему гамма-излучению является немало важным фактором.

Данный метод может найти применение для контроля над перевозками. Из-за дешевизны материалов, возможно, отслеживать большое число контейнеров, которые перевозят из одного пункта в другой.

Так же, возможно применения в качестве личного дозиметра для персонала, работающих с источниками нейтронов.

Список литературы

1. Орищенко А.В., Ситкина И.А., Анализ видеоданных ядерно-физического эксперимента по облучению моноэнергетическими протонами детектора CR-39 // Сб. трудов НИИАР, 2008г. Выпуск 1, с 51-55.

И.Н. ГАЛИУЛЛОВ

Научный руководитель – А.В. ОРИЩЕНКО, к.ф.-м.н., доцент
Дмитровградский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ

ЯДЕРНОЕ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕ. СОВРЕМЕННАЯ СИТУАЦИЯ

В работе рассматривается современная ситуация ядерного нераспространения. Перспективы и задачи ДНЯО. Так же, в данной работе говорится о ситуации на Ближнем Востоке и взаимоотношениях между Россией и Западом. Существует необходимость разработать всеобъемлющую программу развития ядерной политики и ядерной энергетики в современном мире.

В настоящее время перед развитием и функционированием режима нераспространения встали преграды, обусловленные сложностью и многогранностью международных отношений. Негативным фактором, влияющим на режим, является стремление некоторых государств к созданию ядерного оружия вопреки достигнутым соглашениям и договорам, игнорирование ими требований СБ ООН и других международных организаций. Негативным образом на режим нераспространения влияет факт наличия ядерного оружия у стран (Израиль, Индия, Пакистан), находящихся вне режима нераспространения. [1]

К числу проблем ядерного нераспространения следует отнести Украинский кризис, следствие которого может повлиять на сотрудничество между Россией и Западом, в первую очередь США, в военной сфере и космических программах. Также тема Ирана и его разработок в области атома вызвала неоднозначные международные мнения, повлекшие за собой противоречия в международном сообществе. При проведении сессии подготовительного комитета обзорной Конференции 2015 года по Договору о нераспространении ядерного оружия было много актуальных вопросов по нераспространению. В ходе сессии обсуждался вопрос проведения конференции по созданию на Ближнем Востоке зоны, свободной от оружия массового уничтожения, проблема вывоза из Сирии химического оружия. Чтобы решить эти проблемы в первую очередь необходимо выбрать дату проведения конференции о Ближнем Востоке [2].

Каким образом мы можем учесть различные угрозы и риски в области развития ядерной энергетики и их преодолеть? Как мне представляется, необходимо разработать всеобъемлющую программу развития ядерной политики и ядерной энергетики в современном мире. А иначе получается,

что мы обсуждаем множество вопросов – о политике пяти ядерных держав, об Индии и Пакистане, Иране и Северной Корее, а рассмотрением всей проблематики в комплексе не занимаемся. А необходимо все эти вопросы систематизировать, выработать единую систему. Это должна быть, наверное, не столько система нераспространения, а именно система развития атомной энергетики. В эту систему должны войти в качестве элементов и ДНЯО, и Группа ядерных поставщиков, и Совет Безопасности ООН – то есть необходимо создать механизм, с помощью которого можно было бы эффективно регулировать различные проблемы в ядерной сфере. Но при этом он не должен отменять ничего из того, что уже было создано. Для поддержки ДНЯО в настоящее время представляется необходимым:

- Всем странам, в том числе и не участвующим в Договоре, придерживаться принципов, изложенных в преамбуле ДНЯО. При этом первостепенную важность имеет отказ государств, обладающих ядерным оружием, от тактики запугивания других стран силой. Истории с КНДР и Ираном уже показали, что запугивание контрпродуктивно и только подталкивает неядерные страны к овладению секретами создания ядерного оружия.

- Ядерным державам достичь нового соглашения о мерах по снижению боеготовности стратегических ядерных сил и снижению числа ядерных боеголовок, стоящих на вооружении.

- Неядерным государствам всемерно поддерживать МАГАТЭ, в том числе и усилия этой организации, направленные на осуществление контрольной деятельности в рамках «Дополнительного протокола».

- Приступить к реализации предложений президентов России и США по созданию на территории этих стран Международных центров по обогащению урана и переработке облученного топлива под контролем МАГАТЭ.

Список литературы

1. Снежинск и наука – 2006, Международной научно-практической конференции. – Снежинск, Сб. науч. тр.: СГФТА, 2006. – стр. 98. (дата обращения 20.08.2014).
2. Министерство иностранных дел Российской Федерации // Интервью директора Департамента по вопросам нераспространения и контроля над вооружениями МИД России М.И.Ульянова агентству ИТАР-ТАСС, 6 мая 2014 года / URL: http://www.mid.ru/brp_4.nsf/ (дата обращения 20.08.2014).

Д.В. ЯРМЫШЕВ

Научный руководитель – М.В. КОПТЕЛОВ, аспирант
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНОЙ СРЕДЫ НА РЫНКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС НА ПРИМЕРЕ ТЕНДЕРА – «ТЕМЕЛИН» В ЧЕХИИ

В работе рассматриваются вопросы, связанные с оценкой конкурентной среды и позиций различных компаний на рынке строительства атомных электростанций на примере тендера в Чехии.

Государственная энергетическая компания Чехии планирует иметь к 2025 году атомный парк 4,5 ГВт. Действующая на данный момент двухреакторная АЭС «Темелин» мощностью 2000 МВт к 2020 году может быть закрыта (реакторы запущены в 2000-03 гг. [1])

Тендер на строительство блоков 3 и 4, объявленный и закрытый в 2009 году был возобновлен в 2011 году с новыми условиями. Стоимость всего проекта составляет \$10 млрд.. Победителю тендера обещан также опцион на сооружение еще трех энергоблоков на других площадках в Чехии и Словакии. Оценочная стоимость всего контракта, согласно данным, фигурирующим в чешских СМИ, составляет не менее 20 млрд. евро. [1]

Все три претендента вышли на тендер с легководными реакторами третьего поколения: Areva представила реактор EPR-1600, Westinghouse — модернизированный AP1000 мощностью 1150 МВт, российско-чешский консорциум — MIR-1200 (эволюционный проект ВВЭР-1000 с улучшенными технико-экономическими показателями). [2]

Оценка конкурентоспособности компаний произведена по следующим показателям: мощность предлагаемых реакторов, стоимость строительства реакторов, уровень безопасности реакторов, «надежность» самой компании и т.д. На основании оценки составлен рейтинг предприятий, занимающихся строительством АЭС и сделан краткий вывод. российско-чешский консорциум «MIR.1200» и американская Westinghouse.

Опыт успешной эксплуатации АЭС с ВВЭР сегодня превышает 1400 реакторо-лет. Атомные электростанции с такими реакторами построены в Чехии, Словакии, Финляндии, Венгрии и других странах Европы. Они

безопасны и экономически эффективны. А последняя из введенных в эксплуатацию по проекту СПБАЭП станций с реакторами ВВЭР – Тяньваньская АЭС в Китае, по мнению международных экспертов, считается одной из самых надежных и безопасных АЭС в мире.

Конкурент чешско-российского консорциума, компания «Westinghouse Electric» подготовила предложение на базе реакторной установки AP1000 мощностью 1150 МВт. Проект сочетает в себе усовершенствованные пассивные системы обеспечения безопасности и «значительное упрощение конструкции». В рамках предложения объединены «навыки проектирования и строительства «Westinghouse Electric» и «Toshiba Corp.» с компетенциями чешской строительной компании «Metrostav a.s.». При этом «Westinghouse Electric» намерена привлечь новых партнеров из числа чешских компаний.

Французская сторона представляет к рассмотрению «Европейский реактор с водой под давлением (EPR)», мощностью 1650 МВт. Ключевым аспектом своего предложения AREVA считает «регионализацию цепи поставок». Однако в октябре 2012 года, группа AREVA была исключена из тендера, согласно 7-ми пунктам. AREVA, среди прочего, не гарантировала максимальной цены и максимального срока строительства, в то же время она не выполнила требования по 24-месячной гарантии. Французы не согласны с исключением и заявили о намерении отменить решение CEZ. В июле 2013 года, Чешский антимонопольный комитет (UOHS) окончательно отверг жалобу AREVA на её исключение из тендера.

Российская сторона также предусматривает максимальную локализацию проекта (более 70%), планируя в значительной мере опереться на местные строительные мощности. Более того, предложение чешско-российского консорциума способно обеспечить чехам вожаемую независимость в энергетическом вопросе. Ведь технологии и ноу-хау в изготовлении ключевого оборудования для АЭС будут переданы на предприятия Чехии. Это даст возможность самостоятельно организовывать квалифицированную поддержку и эксплуатацию в течение всего срока службы энергоблоков. Госкорпорация «Росатом» готова передать чешским компаниям технологии производства корпуса реактора, парогенератора, парокompенсатора и главных циркуляционных насосов (ГНЦ). [3]

Список литературы

1. Информационный ресурс <http://www.atominfo.ru>
2. Информационный ресурс <http://atomicexpert.com>
3. <http://www.atomic-energy.ru/smi/2012/07/17/34868>

АВТОМАТИКА В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Е.А. ДОВГОПОЛАЯ

Научные руководители – **В.В. МАСЛЕННИКОВ**, д.т.н., профессор

В.В. МЕЩЕРЯКОВ, к.т.н., доцент

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКАНИРУЮЩЕГО НАНОТВЕРДОМЕРА

На примере сканирующего нанотвердомера рассмотрены возможности оптимизации его конструкции с целью уменьшения влияния резонансов механической части на результаты измерений и улучшения его функциональных характеристик.

В рамках данной работы исследовались возможности увеличения быстродействия системы автоматического регулирования (САР) сканирующего нанотвердомера с улучшением его качественных характеристик.

САР содержит такие блоки, как пьезокерамический актюатор с подвижным столом, высоковольтный усилитель (драйвер актюатора), емкостной датчик перемещения, зонд со схемой возбуждения [1]. Одними из наиболее значимых факторов, ограничивающих скорость сканирования, являются паразитные механические резонансы подвижного стола с пьезокерамическим актюатором, возникающие на частотах от 400 Гц до 1 кГц [2]. Это приводит к колебательному характеру измеряемого сигнала, что увеличивает погрешности при измерениях. Была поставлена задача обеспечить апериодический переходный процесс без уменьшения скорости сканирования.

Для нахождения оптимального решения были исследованы частотные характеристики современного подвижного стола с актюатором, построена и проанализирована его передаточная функция [3].

Обычно для исследования поведения подобной системы управления ограничиваются передаточной функцией петли регулирования не выше четвертого порядка [4,5]. Исходя из этого, были получены простые приближенные формулы добротности и частоты комплексно-сопряженных полюсов передаточной функции третьего и четвертого порядков с доми-

нирующим низкочастотным действительным полюсом и произведен анализ системы с использованием полученных выражений. Исследованы САР, обладающие как аperiодическими, так и резонансными свойствами. В итоге разработаны цепи коррекции, обеспечивающие повышение быстродействия при сохранении аperiодического характера переходных процессов.

Список литературы

1. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. – СПб ГУ ИТМО, 2011. – 131 с.
2. Andrew J. Flemming, Summet S. Aphale, S. O. Reza Moheimani. A new method for robust damping and tracking control of scanning probe microscope positioning stages. IEEE TRANSACTIONS ON NANOTECHNOLOGY. Vol. 9, NO. 4, July 2010, pp. 438 – 448.
3. Брызгунов М.И., Гончаров А.Д., Рева В.Б., Скоробогатов Д.Н. Определение передаточной функции регулируемого объекта по характеристикам замкнутой системы с обратной связью / Вестник НГУ. – 2008. – с. 104-113.
4. Meshtcheryakov, A.V. Scan speed control for tapping mode SPM / A.V. Meshtcheryakov, V.V. Meshtcheryakov // Nanoscale Research Letters. – 2012. - 7:121.
5. Abramovitch, D.Y. Semi-automatic tuning of PID gains for atomic force microscopes/ D.Y.Abramovitch, S.Hoen, R.Workman// American Control Conference. – 2008. – pp.2684-2689.

Д.В. НИКОЛАЕВА

Научный руководитель – **И.Б. СЕМЕНОВ**, к.ф.-м.н.

ЧУ ГК Росатом «Проектный центр ИТЭР», Москва

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСУ ТП ПОДСИСТЕМ УСТАНОВКИ ИТЭР НА ПРИМЕРЕ СТЕНДА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПОРТ-ПЛАГОВ

В докладе представлены результаты применения методологии проектирования АСУ ТП подсистем установки ИТЭР. Опыт будет использован при сопровождении разработки диагностических подсистем, поставляемых Российской Федерацией для ИТЭР.

В рамках научно-исследовательской работы была спроектирована версия АСУ ТП стенда для тестирования порт-плагов перед установкой на термоядерный реактор. Фаза проектирования, рассмотренная в данной работе, открывает жизненный цикл подсистемы ИТЭР и состоит из трёх

этапов: концептуального, предварительного и окончательного проектирования.

На первом этапе собраны входные данные, такие как философия работы системы, высокоуровневый функциональный анализ, чертежи подсистемы и диаграммы PFD и P&ID, состояния подсистемы, анализ рисков, функции защиты оборудования и безопасности персонала, описаны интерфейсы с другими системами. Итогом данного этапа являются системные требования к АСУ, которые включаются в «Соглашение о поставке».

На этапе предварительного проектирования АСУ выбрана физическая архитектура, конфигурация контроллеров и модулей, составлены списки сигналов и переменных, конфигурация стоек с оборудованием, описаны автоматы состояний. Результатом работы являются предварительная версия спецификаций системы.

На стадии окончательного проектирования детализированы спецификации предыдущего этапа. Одновременно со спецификацией системы проведено предварительное макетирование архитектуры АСУ.

Полученный опыт зафиксирован в виде плана-графика и практических рекомендаций для разработчиков АСУ ТП и менеджеров проекта.

Список литературы

1. PCDH (<http://www.iter.org/fr/org/team/chd/cid/codac/plantcontrolhandbook>)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА, МОДЕЛИРОВАНИЯ, ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННОЙ ТЕХНИКИ



М.С. ЮРЛОВА

Научные руководители – **Е.А. ОЛЕВСКИЙ**, Ph.D., профессор

Е.Г. ГРИГОРЬЕВ, к.т.н., в.н.с.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФАБРИКАЦИИ НИТРИДНОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Представлены результаты экспериментального исследования влияния параметров высоковольтной электроимпульсной консолидации на плотность и структурно-фазовое состояние компактов нитридов урана, циркония и титана. Установлено, что при данном способе изготовления таблеток не происходит разложения термически нестабильных нитридов. Показаны преимущества применения высоковольтной электроимпульсной консолидации перед традиционными методами для получения таблеток нитридного ядерного топлива.

Нитридное ядерное топливо является привлекательным для реакторов на быстрых нейтронах и для реакторов космических кораблей [1, 2]. Концепция применения моонитрида урана и плутония с незначительными добавками минорных актиноидов (MA, Np, Am, Cm) и (U, Pu, MA)N для реакторов на быстрых нейтронах четвертого поколения (Generation IV) является актуальной. Более того, в качестве топлива для управляемых ускорителями систем изучаются безурановые нитриды, такие как (Pu, MA)N разбавленные ZrN для управляемых ускорителями подкритичных реакторов [1–3]. Использование Pu и Am является выгодным с точки зрения тепловыделения. Для топлива содержащего нитриды минорных актинидов, включение в композицию нитрида циркония приводит к увеличению их стабильности [3]. В то же время нитрид америция диссоциирует при температурах выше 1800 К, поэтому температуру спекания следует выбирать меньше данного значения. Однако, традиционные методы спекания такие, как свободное спекание, горячее прессование и горячее изостатическое прессование не позволяют получить плотные компакты нитридов при столь низких значениях температуры, что делает процесс

изготовления нитридного топлива нестабильным и с большим процентом браком.

В настоящее время все большее распространения получают технологии спекания порошковых материалов, использующие электрический ток в качестве рабочего инструмента [4]. Нагрев порошковых материалов осуществляется при прямом прохождении тока через порошковую насып

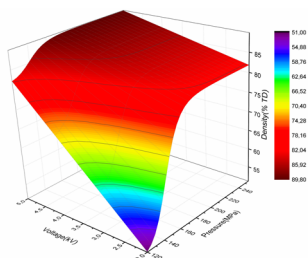


Рис. 1. Зависимость плотности таблеток нитрида титана от параметров процесса ВЭИК

ку. К преимуществам данных технологий относят высокие скорости спекания и что более важно пониженные температуры спекания. Изучено влияния параметров высоковольтной электроимпульсной консолидации на плотность, структуру и качество получаемых компактов. Изучены вопросы консолидации порошков разного фракционного состава. Получены важные зависимости для выбора режима компактирования (рис. 1).

На основании полученных зависимостей построена модель уплотнения керамических проводящих порошков при консолидации по методу ВЭИК. Рассмотрены причины разрушения таблеток при ВЭИК и предложены пути их устранения. Изучена микроструктура таблеток, установлены оптимальные параметры для получения наиболее однородной бездефектной структуры. Проведено успешное компактирование пробных таблеток из нитрида урана (Рис. 2), показывающее применимость ВЭИК для фабрикации топлива в условиях производства.

Список литературы

1. Research and Development of Minor Actinide-containing Fuel and Target in a Future Integrated Closed Cycle System / Osaka M., Serizawa H., M. Kato et al. // Journal of Nuclear Science and Technology. 2007. Vol. 44. Is. 3. P. 309–3161

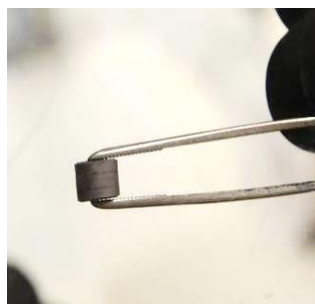


Рис. 2. Внешний вид пробной таблетки нитрида урана, полученной методом ВЭИК

2. Arai Y. Nitride fuel // Nuclear Science and Engineering Di-rectorate. Japan Atomic En-ergy Agency. Ibaraki. Japan. 2012
3. Nitride nuclear fuel and method for its production / Wallenius J., Radwan M., Jolkkonen M. et al. // Patent WO 2012/044237. 2011
4. Методы электронимпульсной консолидации: альтернатива спарк-плазменному спеканию (обзор литературы) / Деменюк В. Д., Юрлова М. С., Лебедева Л. Ю. и др. // Ядерная физика и инжиниринг. 2013. Т. 4. № 3. С. 195-239.

А.П. БИРЮКОВ

Научные руководители – В.И. СУРИН, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ПРИБОРА – ОПРЕДЕЛИТЕЛЯ СОСТАВА ПРОВОЛОК

Актуальной задачей при изготовлении и обработке проволоки является контроль качества получаемой продукции. Проект представляет собой реализацию технологий функциональной электрофизической для контроля качества проволоочных изделий, изготовленных из электропроводящих материалов.

В настоящее время весьма жесткие требования предъявляются к проволокам для обмоток импульсных магнитов в отношении обеспечения упругого последствия, хороших свойств формирования обмоток и высокой электропроводности [1]. В целом можно отметить, что, как при изготовлении, так и при обработке (никелирование, оцинкование и т.д.) различных проволоочных изделий возникает необходимость высокоточного контроля состава конечного продукта.

Целью проекта является разработка прибора, представляющего собой информационно-измерительный комплекс, обеспечивающий проведение электрофизических испытаний на проволоочных изделиях. По результатам данных измерений и заранее известных данных система должна будет формировать отчет о составе проволоки.

На данный момент в лаборатории электрофизической диагностики и неразрушающего контроля на кафедре конструирования приборов и установок НИЯУ «МИФИ» накоплен большой опыт разработок методов и средств контроля структуры и свойств материалов, а также использования информационно-измерительных систем для решения широкого круга материаловедческих задач [2]. Как показывает длительная практика, электрофизические методы неразрушающего контроля обладают высокой чувствительностью и информативностью и способны обеспечить диагно-

стику и контроль, практически в любых условиях эксплуатации научного и промышленного оборудования [3]. Научная новизна проекта заключается в применении нового способа определения состава проволок на основе электрофизических эффектов, являющегося более дешевым, экспрессным, удобным по сравнению с имеющимися аналогами, например, с методом рентгеноструктурного анализа.

Предполагается реализация проекта в четыре этапа:

1. Разработка информационно-математического обеспечения, представляющее собой совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, используемых в приборе, и их описание, для построения математических моделей и интерпретации данных, а также сведения и справочные данные для решения поставленной задачи.

2. Разработка программно-аппаратного обеспечения прибора, включающего проектирование электронных схем, изготовление платы и создание набора компьютерных программ, описаний и инструкций по их применению, используемых при разработке и эксплуатации компонентов системы.

3. Проектирование устройства: разработка рабочей конструкторской и технической документации.

4. Разработка опытного образца прибора электрофизической диагностики и соответствующего методического обеспечения для контроля качества проволоочных изделий.

Вышеуказанные этапы будут проведены на базе кафедры конструирования приборов и установок и, в частности, лаборатории «*ElPhysLab*», одним из основных направлений деятельности которой является разработка инновационной измерительной техники и приборов технической диагностики и неразрушающего контроля, основанных на контактных и бесконтактных взаимодействиях объектов контроля и преобразователей. Лаборатория оснащена и укомплектована всем необходимым современным оборудованием и программным обеспечением, позволяющим выполнять широкий спектр задач. Используемые прецизионные мультиметры *Agilent*, высокоточные осциллографы и стабилизированные источники питания высокого класса точности позволяют работать с самыми «тонкими» электрическими эффектами, что значительно повышает чувствительность и качество в целом разрабатываемой продукции.

Результатом исследований станет создание опытного образца и подготовка патента электрофизического прибора – определителя состава проволок.

Список литературы

1. Н. Pops (пер. – С. Юрьев) Изготовление проволоки – из древности в будущее. Компоненты и технологии, №9, 2009, с. 140-146.
2. Сурин В.И., Евстюхин Н.А. Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов. М: МИФИ, 167 с., 2008.
3. Экспериментальный комплекс “ПОИСК” для высокотемпературных физико-механических исследований / Н.А. Евстюхин, В.И. Князев, В.И. Сурин, С.Н. Тарасов, Ю.Д. Фурсов // Экспериментальное обеспечение реакторных исследований материалов. М.: Энергоатомиздат, 1990, с.60-67.

Г.К. БАРЫШЕВ

Научный руководитель – В.И. СУРИН, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО
КОМПЛЕКСА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА УСТАНОВКИ
СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ**

Актуальной задачей в области рационального природопользования и предотвращения природных и техногенных катастроф является необходимость применения систем инженерной защиты. Проект представляет собой реализацию технологий акустического неразрушающего контроля и функциональной диагностики для обеспечения качества систем инженерной защиты.

В настоящее время в Российской Федерации и за рубежом растет актуальность задачи контроля качества систем инженерной защиты, работающих в условиях механических и температурных воздействий, статических и динамических нагрузок. В нашей стране была впервые решена масштабная задача обеспечения комплекса систем инженерной защиты на объектах олимпийского строительства горного кластера г. Сочи. Расширяющийся рынок систем инженерной защиты требует увеличения контроля качества. В настоящее время на рынке – как российском, так и европейском – слабо представлены аналоги систем контроля качества анкерных систем. Необходимость появления таких систем связана с минимизацией риска человеческого фактора, проверкой качества уже проведенных работ по разработке систем инженерной защиты, а также повышения эффективности и надежности проектируемых.

С другой стороны, методики акустического неразрушающего контроля и технической диагностики, широко используемые в атомной, газовой и других высокотехнологичных отраслях промышленности, в области анализа и обработки конструкционных и функциональных материалов энер-

гонапряженной техники, подтвердили свою эффективность, точность, надежность. Спектр возможностей, предоставляемых этими методами, делают их привлекательными для решения задачи контроля качества систем инженерной защиты.

Целью проекта является проведение исследований для разработки информационно-измерительного комплекса контроля качества установок систем инженерной защиты, используемых в горном кластере г. Сочи, в частности, контроля анкерных систем типа Titan и микросвай. Информационно-измерительный комплекс должен обеспечивать получение информации об основных технологических параметрах систем инженерной защиты, обеспечивать проведение анализа состояния конструкционных и функциональных материалов систем, при этом быть легким, компактным и энергонезависимым.

Научная новизна проекта заключается в том, что методики акустического неразрушающего контроля и функциональной диагностики будут впервые применены для решения задачи контроля качества в новой области – систем инженерной защиты.

Научно-технические результаты проекта могут быть использованы в области строительства и реконструкции инфраструктурных объектов, горнорудной промышленности, автомобильных и железных дорог. Результаты исследования могут быть использованы в работе горнообогатительных комбинатов, служб авторского надзора проектных организаций, технического надзора за строительством особо опасных объектов и других надзорных органов, таких, как Ассоциация инженерной защиты, Ассоциация селезащиты, Росинжиниринг.

Предполагается реализация проекта в четыре этапа:

- Ознакомление с выполненными работами и выполненными проектами систем инженерной защиты с выездом на местность;
- Подготовка и отбор образцов для проведения исследований;
- Проведение математического моделирования, проектирование устройства анализа образцов, проведение первичных исследований;
- Разработка опытного образца информационно-измерительного комплекса и соответствующего методического обеспечения для контроля качества установок систем инженерной защиты.

Результатом исследований станет подготовка патента методики контроля качества систем инженерной защиты.

Список литературы

1. Гресков П. Грунтовые анкерные системы как элемент инженерной защиты склонов и конструкций // Инженерная защита. - 2014. №3. С.40-47
2. В.М. Баранов Испытания и контроль качества материалов и конструкций: Учеб.пособие / В.М. Баранов, А.М. Карасевич, Г.А. Сарычев М.: Высш.школа, 2004. 360.

НАНОЭНЕРГЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ

М.В. КОРОЛЕВ

Научные руководители – И.М. КУРЧАТОВ, к.ф.-м.н., доцент

Н.И. ЛАГУНЦОВ, к.ф.-м.н., доцент

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Открытое акционерное общество «Аквасервис», Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКОНТУРНОЙ МЕМБРАННО-СОРБЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ВОЗДУХА КИСЛОРОДОМ

В работе экспериментально исследовалась одноконтурная мембранно-сорбционная гибридная система. Проведены экспериментальные исследования разделительных характеристик и энергоэффективность такой системы для обогащения воздуха кислородом.

Обогащенный кислородом воздух необходим для создания мобильных воздухоразделительных систем, с помощью которых можно создать искусственную дыхательную атмосферу. За счет применения одноконтурной гибридной мембранно-сорбционной схемы можно снизить энергоемкость такой системы.

У искусственной дыхательной атмосферы широкий спектр применения:

- при тушении пожаров и ликвидации последствий катастроф;
- для системы питания аппаратов искусственного дыхания;
- для создания объектов с искусственной дыхательной атмосферой, обогащенной кислородом, например машин скорой помощи, вертолетов МЧС;
- для создания дыхательных атмосфер на транспорте, в частности в кабине машинистов поездов, водителей специального, пассажирского и грузового транспорта и т.п.

В работе [1] разработана одноконтурная мембранно-сорбционная система без сжатия рециркуляционного потока. Также в этой работе исследованы способы снижения энергоемкости гибридных систем за счет применения рециркуляционного потока.

Задачей данной работы было проведение экспериментального исследования одноконтурной мембранно-сорбционной системы без сжатия рециркуляционного потока при различной степени заполнения адсорберов. Принципиальная схема гибридной системы представлена на рисунке 1.

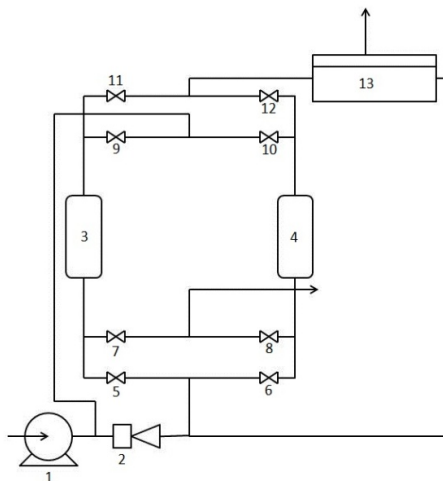


Рисунок 1. Принципиальная схема гибридной системы:

1 – воздушный компрессор; 2 – эжектор; 3, 4 – адсорберы; 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 – регулируемые клапаны; 13 – мембранный модуль

Экспериментально получены области минимальной энергоемкости одноконтурной гибридной системы. Показано, что эти области разделяются точкой «гибридного идеального каскада», в котором концентрация кислорода смешивающихся потоков равна природной концентрации. Показано, что с использованием одноконтурной гибридной системы без сжатия рециркуляционного потока можно получить воздух, обогащенный кислородом до 50 и более об.% при повышенном давлении. Также это позволяет не использовать дорогостоящий кислородный компрессор и избавиться от канцерогенных продуктов истирания сорбентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект №14.579.21.0046.

Список литературы

Кудинов А.Н., Лагунцов Н.И., Нешименко Ю.П. О возможности повышения энергоэффективности газоразделительных процессов за счет применения гибридных мембранно-сорбционных технологий // Альтернативная энергетика и экология. 2013. №04/2. С. 68.

М.Д. КАРАСЕВА

Научные руководители – Н.И. ЛАГУНЦОВ к.ф.-м.н., доцент

И.М. КУРЧАТОВ к.ф.-м.н., доцент

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Открытое акционерное общество «Аквасервис», Москва

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЕЛИЯ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Рассмотрен двухступенчатый мембранный газоразделительный каскад очистки природного газа от гелия, в котором в качестве второй ступени применяется рециркуляционная схема. Определены оптимальные значения селективности с точки зрения ресурсо- и энергосбережения

Известно, что природный газ – широко используемое топливо, состоящее из смеси многочисленных газов в то числе и гелия, которые ежедневно применяются в нашей жизни.

Применение гелия разнообразно и его потребление растет вместе с развитием технологий и составляет свыше 175 млн м³/год (н.у) [1,2]. При этом гелий является невозобновляемым ресурсом, что приводит к необходимости решать задачу очистки природного газа от него и сохранять гелий для будущих поколений.

Целесообразно решать такую задачу с помощью двухступенчатого мембранного газоразделительного каскада, с рециркуляционной схемой в качестве второй ступени [3], представленной на рис.1.

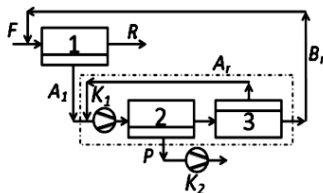


Рис.1. Двухступенчатый каскад с рециркуляционной схемой в качестве второй ступени

На рис. 1 первая ступень представляет собой ординарный делитель, в котором концентрация гелия меняется от 0,5% в потоке питания F, до 0,01% в очищенном от гелия потоке ретентате R). Поток пермеата A1 из

первой ступени подается на вход второй ступени, которая состоит из компрессора $K1$ и рециркуляционной схемы, в которой поток обедненный гелием Br смешивается с потоком питания каскада. Составы смешивающихся в этом узле потоков одинаковы. Обогащенный гелием поток P с выхода пермеата второй ступени поступает на компрессор K_2 и направляется в подземное газовое хранилище.

Для анализа влияния селективности мембраны на эффективность извлечения гелия из природного газа в двухступенчатом каскаде, вычислены суммарные приведенные энергозатраты. Приведенными энергозатратами W/R называем сумму удельных энергозатрат на работу компрессоров $K1$ и $K2$ и потерь метана в энергетических единицах [3] на $1000 \text{ н.м}^3/\text{ч}$. продукта.

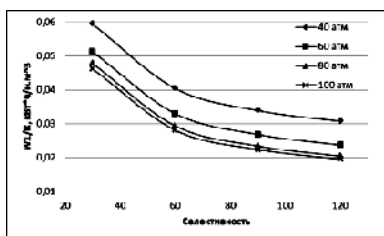


Рис.2. График зависимости селективности от суммарных приведенных энергозатрат

Построена зависимость селективности от минимальных суммарных приведенных энергозатрат для разных значений давлений (рис.2). Из рисунка видно, что чем выше селективность, тем меньше суммарные приведенные энергозатраты. Различия в приведенных энергозатратах малы, когда селективность мембран по величине становится близкой к значению перепада давлений.

Работа выполнена при поддержке программы «У.М.Н.И.К» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Список литературы

1. Молчанов С.А., Иванов С.И. // Наука и Техника в газовой промышленности. 2011. № 2(46). С. 13.
2. Гафаров Н.А., Кисленко Н.Н., Семиколенов Т.Г., Булавинов С.Л., Соболев А.Н. // Наука и Техника в газовой промышленности. 2011. № 2(46). С. 34.
3. Н.И. Лагунцов, И.М. Курчатов, М.Д. Карасева, В.И. Соломахин // Мембраны и мембранные технологии, 2014, том 4, №4. С.272

А.А. ТИШИН

Научные руководители – И.М. КУРЧАТОВ, к.ф.-м.н., доцент

Н.И. ЛАГУНЦОВ, к.ф.-м.н., доцент

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОАО «Аквасервис», Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЦЕОЛИТОВ В ПРОЦЕССАХ КОРОТКОЦИКЛОВОЙ АДСОРБЦИИ

В работе разработана схема установки для экспериментального измерения свойств сорбентов в диапазоне до 10 атм, с последующим использованием изученных сорбентов в гибридной мембранно-сорбционной установке.

В работе [1] разработана гибридная мембранно-сорбционная система обогащения воздуха кислородом. Гибридная мембранно-сорбционная система используется для разделения газовых смесей, состоит из комбинации мембранных и адсорбционных разделительных блоков, позволяющая повысить содержание целевого компонента, его степень извлечения, а также снизить энергетические затраты. Такая конструкция системы разделения позволяет избавиться от недостатков как мембранной составляющей системы, таких как относительно низкое содержание целевого компонента при использовании одноступенчатых схем, либо большие затраты электроэнергии при использовании рециркуляционных схем, описанных в работе [2], так и от недостатков сорбционной части схемы, низкой степени извлечения и как следствие высоких энергетических затрат, описанных в работе [3]. Подробно эффективность и целесообразность использования гибридных мембранно-сорбционных систем описана в работе [4].

Основная проблема, возникшая при разработке данной схемы это определение оптимальных режимов работы системы т.е. расчет циклограммы гибридной мембранно-сорбционной системы. Для ее решения была сконструирована и изготовлена одноадсорберная схема, которая позволяет изучить свойства сорбентов в диапазоне давлений до 10 атм. и рассчитать циклограммы работы ступени КЦА в гибридной системе. Установка позволяет моделировать все стадии работы адсорбера ступени КЦА гибридной схемы.

Принципиальная схема стенда исследования сорбционных материалов представлена на рисунке 1.

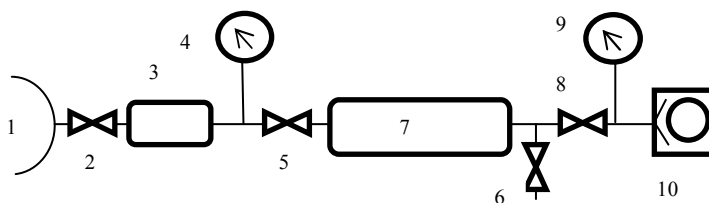


Рис. 1. Принципиальная схема стенда исследования сорбционных материалов:
1-газовый баллон; 2,5,6-регулируемые клапаны; 3-ресивер; 4-манометр;
7-адсорбер; 9-вакууметр; 10- вакуумный насос

Данный стенд позволяет рассчитать время стадии первоначального заполнения, время стадии дозаполнения, время стадии вытеснения и стадии десорбции ступени КЦА гибридной системы.

Помимо основного применения разработанная установка может быть использована как компактный прибор для анализа сорбционных свойств газов на различных сорбентах, а также для определения истинной плотности сорбционных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект №14.579.21.0046.

Список литературы

1. Кудинов А.Н., Лагунцов Н.И., Курчатов И.М. Эжекторное мембранно-сорбционное устройство для разделения газовых смесей Патент на полезную модель № 139877 по заявке №2013143693 от 27.09.2013, бюл. № 12 от 27.04.2014 г.
2. Кудинов А.Н., Курчатов И.М. Лагунцов Н.И. Особенности селективного массопереноса в гибридных мембранно-сорбционных системах. //Теоретические основы химической технологии, 2014, том 48, № 4. 378-385с.
3. Алехина М.Б., Конькова Т.В. Цеолиты для адсорбционных генераторов кислорода. //Вестник ВГУ, серия: Химия. Биология. Фармация, 2011, № 2. 67-74с.
4. Кудинов А.Н., Пермяков М.М. Эффективность процесса газоразделения в гибридных мембранно-сорбционных системах. //XVI Международная телекоммуникационная конференция студентов и молодых ученых «Молодежь и наука», тезисы докладов. Ч.1. М.: НИЯУ МИФИ, 2013. 140-141с.

Р.А. АЛЕКСАНДРОВ

Научные руководители – Н.И. ЛАГУНЦОВ, к.ф.-м.н., доцент

И.М. КУРЧАТОВ, к.ф.-м.н., доцент

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

РАЗРАБОТКА ЭЖЕКЦИОННОЙ ПОДГОТОВКИ И ПОДАЧИ РЕАГЕНТОВ В СИСТЕМАХ ВОДООЧИСТКИ

В работе приводится схема исследовательской установки моделирования и очистки воды с модулем эжекционного ввода реагентов, проводится анализ процессов, происходящих в разрабатываемой системе, а также анализируются полуэмпирические методы расчета водовоздушного и водоводяного эжектора.

В настоящее время, в связи с постоянно появляющимися угрозами безопасности жизнедеятельности, происходящими в результате стихийных природных явлений либо аварий техногенного характера, возникает необходимость специальным службам экстренно реагировать на чрезвычайные ситуации. Зачастую нехватка чистой качественной питьевой воды может стать серьезной проблемой для спасения жизней и здоровья людей.

В условиях современной России (изношенное промышленное оборудование, устаревшие системы очистки сточных вод на предприятиях, низкий уровень экологической ответственности) нередко сбросы отходов химического производства в реки и водоемы, при этом происходит заражение мест забора воды, колодцев и т.д.

В связи с множественными актуальными проблемами загрязнения водной среды при водоочистке и водоподготовке необходимо иметь на вооружении технологию широкого спектра действия, сочетающую в себе комплекс эффективных методов очистки.

В данной работе предлагается разработка эжекционной системы подготовки и подачи реагента в технологии активированной очистки вод, основанной на обработке вод гибридным реагентом, сочетающем свойства коагулянта, флокулянта и сорбента. В качестве дополнительных активизирующих добавок могут использоваться воздух и другие флокулянты.

На основе разрабатываемой системы планируется создание экспериментального образца установки очистки природных и сточных вод, включающей следующие основные узлы:

- ☐ модуль предварительной подготовки вод;
- ☐ модуль эжекционного ввода реагентов и активизирующих добавок;

- флотационный модуль, снабженный зонами формирования, осаждения и удаления осадка, узлом отбора очищенной воды;
- модуль фильтрации на фильтрах, изготовленных по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

В работе предлагается схема исследовательской установки моделирования и очистки воды, включающая флотационный модуль и модуль эжекционного ввода реагентов и воздуха. Одними из основных звеньев данной установки являются эжекторы. Эжекторы – устройства, в которых осуществляется процесс инжекции, заключающийся в передаче кинетической энергии одного потока другому путем непосредственного контакта (смешения потоков). Схема эжектора с основными параметрами представлена на рис. 1.

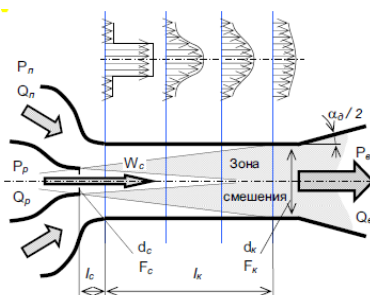


Рис. 1. Схема эжектора [3]

Определение оптимальных параметров эжекторов является важнейшей задачей оптимизации исследовательской установки моделирования и очистки воды. В данной работе использовались полуэмпирические методы расчета водовоздушных [2] и водоводяных [3] эжекторов, основывающиеся на обобщении множества экспериментальных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект №14.575.21.0086.

Список литературы

1. Лагунцов Н.И., Нешименко Ю.П., Феклистов Д.Ю. Применение алюмокремниевых реагентов для очистки вод//Водоочистка, 2011, №9, с. 21-29.
2. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М: Энергоатомиздат, 1989. - 352 с.
3. Кулак А.П., Шестозуб А.Б., Коробов В.И. Приближенный расчет струйных насосов. 21.06.2010

МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ



Т.А. ОСИПОВА^{1,2}

Научные руководители – Р.С. МАКИН¹, д.ф.-м.н., профессор

В.А. УЗИКОВ²

¹*Дмитровградский инженерно-технологический институт НИЯУ «МИФИ»*

²*ОАО «ГНЦ НИИАР», Дмитровград-10, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ АМПУЛЬНОГО КАНАЛА С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Обоснована возможность использования каналов ампульного типа для проведения экспериментов по изучению свойств материалов при облучении в ячейке отражателя РУ СМ-3. В работе представлены схема ампульного канала, а также основные выводы по расчетным и экспериментальным исследованиям температурных режимов при облучении образцов жаропрочных сплавов в ампульном канале с естественной циркуляцией теплоносителя.

Для проведения материаловедческих исследований при высоких параметрах теплоносителя (рабочее давление до 18,5 МПа, температура теплоносителя 120–300 °С) в РУ СМ-3 предназначена высокотемпературная петля ВП-3 [1].

В рамках исследования коррозионного растрескивания под напряжением образцов при реакторном облучении необходимо обеспечить следующие условия испытаний:

- среда – вода с заданным химическим составом;
- температура на образцах – 300°С;
- отсутствие поверхностного кипения на образцах.

Однако в силу выявленных проблем с обеспечением требуемого водохимического режима, принято решение отказаться от петлевого контура и перейти к каналу ампульного типа.

При использовании ампульного канала требуется предусмотреть возможность регулирования температурного режима в процессе облучения. Для решения этой задачи предложена конструкция ампульного канала с естественной циркуляцией.

Схема канала с естественной циркуляцией (ЕЦ) приведена на рисунке 1. Канал состоит из двух герметичных корпусов (1, 2), разделенных между собой газовым зазором. Внутри канала располагается разделитель потока (3), выполненный в виде трубы. Обойма с образцами на штанге располагается внутри разделителя потока (4, 6). Облучательное устройство (ОУ) включает в себя держатель, на который устанавливаются 14 пена-лов, по 2 на одном этаже и блоки радиационных нагревателей.



Рисунок 1 – Схема канала с ЕЦ

Для регулировки рабочей температуры теплоносителя в зазоре между внешним и внутренним корпусами может находиться различная газовая среда – гелий, азот или их смесь. Другим способом регулирования температуры является выбор высоты тракта циркуляции, которая зависит от расположения ограничителя потока (5) между разделителем и штангой.

В результате проведенного в коде RELAP5/Mod3.2 [2] расчета естественной циркуляции при организации теплоотвода от ОУ в ампульном канале получено, что температура теплоносителя на уровне обоймы с образцами лежит в диапазоне 283–294 °C.

Проведенный эксперимент показал, что, изменяя содержание гелия в межкорпусном зазоре канала, можно получить необходимую температуру на образцах ~300 °C.

В работе расчетным путем показано, что в ампульном канале возможно осуществлять теплоотвод от образцов при помощи естественной циркуляции и обеспечить требуемые условия облучения. Достоверность приведенных выводов подтверждена результатами эксперимента.

Список литературы

1. Опыт эксплуатации высокопоточного исследовательского реактора СМ /А.И. Звир, М.Н. Святкин, А.Л. Петелин // Материалы 11-го ежегодного российского совещания «Безопасность исследовательских ядерных установок»: сб. докл. Димитровград: ГНЦ НИИАР, 2009.
2. RELAP5/MOD3, Volume 1-7. Code manual. NUREG/CR-5535 INEL-95/0174, 1995.

А.Н. ЮСУПОВ

Научный руководитель – А.В. ОРИЩЕНКО, к.ф.-м.н., доцент
Дмитровградский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОИМУННОТЕРАПИИ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Было рассмотрено перспективное направление медицинской физики. Описан принцип создания моноклональных антител, используемых в радиоиммунотерапии в качестве радиофармпрепаратов. Также описана сама процедура, которую проводят врачи и процессы, происходящие с раковыми образованиями.

Радиоиммунотерапия (РИТ) – молодое и перспективное направление современной медицинской физики. РИТ представляет собой комбинированный метод лечения, который совмещает в себе возможности радиотерапии и иммунотерапии.

При радиоиммунотерапии используются моноклональные антитела, которые способны обнаружить раковые клетки. Они являются своего рода «специфическими переносчиками» токсинов в опухоль и метастазы. С помощью моноклональных антител в клетки опухоли доставляются радиоактивные вещества, которые их уничтожают.

Принцип методики заключается в том, что пациенту вводят при помощи инъекций моноклональные антитела, связанные с радиоактивными изотопами (помеченные радиоизотопом). Введенные в кровоток пациента они начинают разыскивать клетки опухоли, связываются с их поверхностью и подвергают непосредственно саму клетку радиационному излучению в высокой дозе [1].

В качестве радиофармпрепарата используется Zevalin, производства Schering AG (Германия), состоящего из двух компонентов: антитела ибритумомаб и тиуксетана. Ибритумомаб является CD20-антителом (CD20, или В-лимфоцитарный антиген CD20 — белок, ко-рецептор, расположенный на поверхности В-лимфоцитов) и селективно захватывается на поверхности В-клеток.

Тиуксетан связывает антитело с радиотерапевтическим компонентом – бета-излучателем ^{90}Y с максимальным пробегом частиц в ткани до 5,3 мм

[2]. Так же используют Тозитумомаб (торговое название Веххар) на основе изотопа йода-131 (I-131).

В настоящее время на стадии разработки находятся и другие радиоиммунопрепараты. Некоторые из них уже изучаются в клинических исследованиях. Эти препараты хорошо зарекомендовали себя в клинической практике развитых стран.

Радиоиммунотерапевтическое лечение назначают в следующих случаях:

- при наличии первично диагностированного злокачественного заболевания лимфатической системы (неходжкинская В-клеточная лимфома);
- при нерезультативном лечении больных с неходжкинской В-клеточной лимфомой препаратом «Ритуксимаб»;
- при раке предстательной железы;
- при лейкемии;
- при раке яичников;
- при наличии глиомы головного мозга;
- при меланоме [3].

Список литературы

1. Русский медицинский сервер // Радиоиммунотерапия / URL: <http://www.rusmedserv.com/radiology/radioimmunotherapy> (дата обращения: 07.04.2014);
2. Забарянский Ю.Г., Омельченко А.Д., Анохин Ю.Н./ Радиоиммунотерапия и другие виды терапии радионуклидами/ ИАТЭ НИЯУ МИФИ.— г. Обнинск.
3. Лучшие клиники в Швейцарии // Радиоиммунотерапия при лечении рака головного мозга / URL: <http://www.swiss-clinics.ru/neurosurgery/RadioimmunotherapyCancerBrainSwitzerland> (дата обращения: 06.04.2014)

Б. ОДЛОЖИЛИК¹

Научный руководитель – Т. ПРОХАЗКА²

Медицинский научный руководитель – П. ШЛАМПА², д.мед.н.

¹Чешский технический университет, Прага, Чешская Республика

²Онкологический институт им. Масарика, Брно, Чешская Республика

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРАКРАНИАЛЬНОЙ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ РАДИОТЕРАПИИ

В данной работе было рассмотрено применение метода радиобиологического моделирования для оптимизации процесса планирования и выбора режима фракционирования при лечении пациентов техникой экстракраниальной стереотаксической радиотерапии.

Экстракраниальная стереотаксическая радиотерапия (SBRT – Stereotactic Body Radiotherapy) является прецизионным конформным методом гипофракционированной радиотерапии, использующим самую современную медицинскую технику. Назначение SBRT пациентам проводится индивидуально, причем на относительно небольшой объем опухоли подводится высокая некротизирующая доза излучения [1]. Высокую эффективность и безопасность метода подтверждают работы [1,2] и практический опыт Онкологического института им. Масарика в г. Брно, Чехия [3]. Количество острых и отдаленных осложнений после SBRT минимально. Тем не менее необходимо уметь рассчитать вероятность контроля над опухолью (TCP – tumor control probability) и оценить вероятность возникновения поздних осложнений (NTCP – normal tissue complication probability) для каждого конкретного пациента.

Для расчета биологически эквивалентной дозы для SBRT используются эмпирические модификации LQ модели, которые точнее описывают биологическое воздействие излучения на ткани при высоких дозах (более 5 Гр в одной фракции), например LQL модель, генерализованная GLQ модель и т.д. В Онкологическом институте им. Масарика для оценки вероятности контроля над опухолью и вероятности поздних осложнений используется последняя версия программы радиобиологического моделирования BioGray (2.0.3.883), использующая LQL модель. Эта программа позволяет рассчитать TCP и NTCP на основе однозначных параметров конкретного плана облучения – максимальной дозы и облученного объема опухоли или критического органа соответственно. Знание TCP и NTCP

позволяет выбрать оптимальный план облучения и подходящий режим фракционирования для каждого конкретного пациента, облучаемого техникой SBRT.

Таким образом программа BioGraу помогает достичь главной цели экстракраниальной стереотаксической радиотерапии – подвести максимально высокую биологическую дозу к объему опухоли и избежать возникновения острых и отдаленных осложнений после SBRT. В настоящее время проводится сопоставление рассчитанных значений NTCP с количеством возникших поздних осложнений после облучения техникой SBRT в группе из 100 пациентов с подтвержденными метастазами опухолей различной локализации в легкие или печень.

Работа была поддержана грантом министерства здравоохранения Чешской республики MZ ČR - RVO (reg. č. 00209805).

Список литературы

1. Dahele, M.; Brade, A.; Pearson, S.; et al. Stereotactic radiation therapy for inoperable, early-stage non-small-cell lung cancer. CMAJ. 2009, 13, 180.
2. Priateľová, I.; Janičková, N.; Marínčák, M. Stereotaktická rádioterapia karcinómu pľúc. Onkologia (Bratisl.). 2013, 8(5): 288-292.
Šlampa, P.; Burkoň, P.; Extrakraniální stereotaktická radioterapie. I-med Dostupné na: www.i-med.sk/moodle/course/category.php?id=10608&druh_specializacni=

А.О. ЗАХАРОВА

Научный руководитель – В.Н. КОНЕВ, аспирант

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОЧКИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕСТ СКОПЛЕНИЯ РАКОВЫХ КЛЕТОК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

В данной работе авторы предлагают очки, которые фиксируют инфракрасное излучение от раковых клеток, накопивших специальный краситель, тем самым облегчая хирургам процесс отделения здоровых тканей от пораженных во время операции.

В России число онкологических больных в 2005 г. достигло 2,3 млн. человек, увеличившись на 1,75 млн. с 1995 г. Выявляются порядка 400-500 тыс. в год новых больных раком [1].

При проведении операций по хирургическому удалению раковых новообразований, врачам приходится скрупулезно отделять раковые клетки от здоровых. Чтобы повысить эффективность подобных хирургических операций, предлагается использовать специальные очки, которые позволили бы медицинскому персоналу видеть раковые клетки и полностью удалять их из здоровой ткани.

В процессе операции в пораженные ткани вводится специальный краситель, который накапливается только в опухоли. Очки распознают инфракрасное излучение от данного красителя и позволяют хирургу видеть самые незначительные скопления злокачественных раковых клеток.

Очки построены на базе системы ночного видения и оснащены механизмом беспроводной связи, что позволяет записывать и передавать данные, фиксируемые очками, и затем обрабатывать их на персональном компьютере. Это дает возможность другим экспертам оценить то, что происходит во время операции, при необходимости дать анализ показанной картинки и поделиться своей консультационной помощью.

Список литературы

1. Статистика онкологических заболеваний. 2011. URL: http://4lifemd.ru/rezultat_primeneniya/onkologiya/statistika-onkologicheskikh-zabolevaniy.

И.А. АШАНИН

Научный руководитель – С.М. ПОЛОЗОВ, к.ф.-м.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

РЕГУЛИРОВКА ЭНЕРГИИ В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ДЛЯ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Сверхпроводящие линейные ускорители, основанные на независимо фазирuemых резонаторах предоставляют возможность предложить их для использования в медицинских целях [1]. Такие ускорители удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к медицинским установкам. Но в качестве основных преимуществ выступают высокий прирост энергии за период, низкое потребление ВЧ-энергии, а также возможность варьирования энергии путем изменения числа активных резонаторов или изменения фазы ВЧ-поля в резонаторах.

В такой структуре имеет место явление скольжения частиц относительно ускоряющей волны [2]. В нашем случае величина скольжения была ограничена 18 %. Ускоритель был разделен на четыре группы с геометрическими фазовыми скоростями резонаторов $\beta_g = 0.09, 0.18, 0.31, 0.49$ и диапазонами энергий 2.4-10.4 МэВ, 10.4-43.6 МэВ, 46.6-123.2 МэВ, 123.2-240 МэВ. Первые две группы состоят из двухзачорных резонаторов, а третья и четвертая группы из трехзачорных.

Был проведен анализ устойчивости пучка протонов в каждой секции ускорителя с помощью кода BEAMDULAC-SCL [3]. Были подобраны основные параметры для фокусировки и ускорения пучка в работе [4].

Также было проведено численное моделирование динамики пучка протонов в каждой секции. Результаты численного моделирования динамики пучка в полигармоническом поле в последней части ускорителя при значении напряженности 14.2 МВ/м и значении магнитного поля 3 Тл показаны на рис. 1. Коэффициент токопрохождения равен 100%.

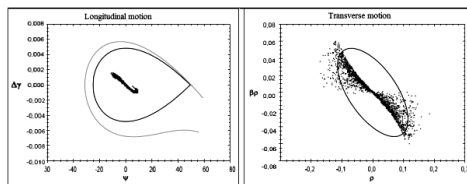


Рис. 1. Продольный и поперечный фазовый объем в четвертой секции

Есть несколько основных методов регулировки энергии на выходе в таких установках. Первый метод заключается в изменении значения напряжения на резонаторах (грубая регулировка).

Далее представлены результаты численного моделирования динамики пучка в полигармоническом поле в последней части ускорителя при варьировании амплитуды ускоряющего напряжения с сохранением других параметров. Амплитуда ускоряющего напряжения для каждого резонатора равна 9.84 МВ/м, что соответствует энергии 200 МэВ ($\beta_{out} = 0.57$).

Результаты численного моделирования с установленными параметрами показаны на рис. 2. Коэффициент токопрохождения равен 100%.

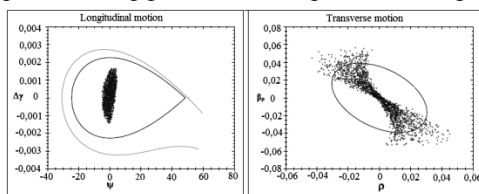


Рис. 2. Продольный и поперечный фазовый объем в четвертой секции при энергии 200 МэВ

Второй метод заключается в изменении фазы ВЧ-поля в нескольких последних резонаторах (плавная регулировка). Далее представлены результаты численного моделирования в полигармоническом поле в четвертой секции ускорителя при варьировании значений фазы ВЧ поля в последних шести резонаторах, оставляя другие параметры неизменными.

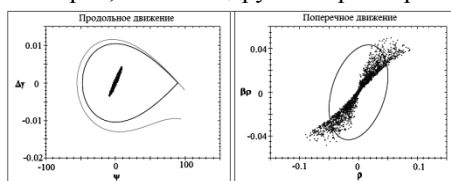


Рис. 3. Продольный и поперечный фазовый объем в четвертой секции при энергии 200 МэВ и фазе влета в ВЧ поле -45°

Список литературы

1. Головкин В.М. Протонная и ионная лучевая терапия: современное состояние и перспективы. г. Томск. Апрель 2013.
2. А.В. Самошин. Proc. of LINAC2012, Тель-Авив, Израиль, TUPB070, стр. 633 - 635.
3. А.В. Самошин. Proc. of LINAC2012, Тель-Авив, Израиль, TUPB069, р. 630 - 63
4. И.А. Ашанин, С.М. Полозов. Proc. of RUPAC14, Обнинск, Россия, TUPSA20.

К.С. БИРЮКОВА

Научный руководитель – В.В. ЛЕБЕДЕВ, д.т.н., профессор

Московский авиационный институт (НИИ)

УПРОЩЕННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРАВИЛЬНОСТИ ЛЕЧЕБНЫХ ПРОЦЕДУР И ДАЛЬНЕЙШЕГО ЛЕЧЕНИЯ

Созданы приборы, упрощающие работу врача по диагностике и лечению заболеваний, так как повышается интерес медиков к быстрой и точной проверке состояния пациента, не требующей большого количества аппаратуры.

Медикаментозное вмешательство практикуется очень широко. На нём основана практически вся терапия. Закономерен вопрос, не является ли такое вмешательство вредным для пациента? Конечно, любое фармацевтическое средство имеет побочные эффекты, нежелательные для организма. Как определить, что лекарство не нанесёт вреда больше, чем пользы? Простейшим примером могут служить аллергические реакции организма. Такие реакции медицина фиксирует практически сразу.

Но что делать, если вредное воздействие вновь назначенного фармацевтического средства скрыто, проявится позднее, после наблюдения за пациентом? В последнее время в рефлексотерапии всё шире применяется метод измерения критической частоты слияния мерцаний – порога частоты, после которого глаз человека перестаёт воспринимать стробоскопический эффект. Этот порог индивидуален для каждого человека, но очень устойчив к внешним воздействиям. Изменение частотного порога происходит либо при очень сильном утомлении, либо при вредном воздействии на организм, в том числе лекарственных средств.

Предлагается прибор для измерения частотного порога и методы повышения точности измерений в условиях клиники или обихода. Целью работы стало создание приборов для получения оперативной информации о здоровье и самочувствии пациента в процессе выполнения терапевтических процедур.

Созданный прибор-стробоскоп на мультивибраторе повышенной стабильности с выдачей сигналов на светодиод, не нуждается в сложном программном обеспечении рабочего места – достаточно ноутбука. Вы-

бранное техническое решение оказалось правильным, прибор для измерения КЧСМ оперативно оценивает критическую частоту слияния мерцаний.

Так же в наше время очень актуальна проблема лечения заикания. Все больше детей и взрослых страдают от этого дефекта речи. Основная проблема заикающихся людей в том, что они сбиваются с оптимального ритма дыхания, поэтому не успевают выговаривать буквы и начинают заикаться. Имеющаяся методика, основанная на биологически обратной связи, малодоступна. Не каждое медицинское учреждение может позволить себе столь дорогостоящую установку. А пациентам придется тратить намного больше времени на регулярное посещение врача, чтобы добиться заметных результатов.

Мы предлагаем более простой и дешевый прибор - логопедический визуальный метроном. После разовой индивидуальной настройки его можно выдать на дом пациенту, для ежедневных тренировок. Созданный прибор – генератор пилообразного напряжения позволяет зрительно контролировать правильное дыхание – быстрый вдох и плавный выдох. Стрелка микроамперметра резко движется вправо и плавно возвращается влево. Ритм дыхания подстраивается под движение стрелки прибора.

Так же создан световой индикатор логопедического метронома на треугольных сигналах.

Ближайшая техническая задача – заменить логарифмическую (звуковую) шкалу линейной.

Список литературы

1. Бирюкова К.С. Свойства в частотном модуляторе // Материалы 8-го Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и инновации в технических университетах». – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 170 с. – ББК 30.1 Н34 - С.6-8/
2. Бирюкова К.С. Генерация пилообразного напряжения при нештатном питании микросхем // Сборник Тезисов Первой Всероссийской Интернет-конференции «Грани науки 2012». – Электронный ресурс. – ISSN 2227-8389 (CD-ROM). – Казань: 2012. – С. 222-223.
3. Бирюкова К.С. Передача информации частотной модуляцией пилообразной несущей частоты / Всероссийский межотраслевой молодёжный научно-технический форум «Молодёжь и будущее авиации и космонавтики – 2012» // Конкурс научно-технических работ и проектов. Аннотации работ. – М.: Московский авиационный институт (НИУ) – ISBN 978-5-905176-15-9/ - С.70-71.
4. Бирюкова К.С. Новые возможности микросхем при нештатном питании / Всероссийский конкурс научных, образовательных и инновационных проектов студенческих научных обществ: сборник научных работ победителей конкурса. Ч. II / М-во образ.и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. – 280 с. - ISBN 978-5-7882-1304-0. – С.24-25.

Ю.А. КАЗЫМОВА

Научный руководитель – А.В. СТАРИКОВСКИЙ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕЧЕБНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ ДЛЯ ОНКОТЕРАПИИ

В работе рассмотрена методика лечения и профилактики онкологических заболеваний с применением магнитных технологий в процедуре лечебной гипертермии.

Онкологические заболевания стали настоящей «чумой» двадцать первого века. По средним статистическим данным, онкологические заболевания уносят каждый год не менее 300 тысяч жизней только в России (и с каждым годом эта цифра только растет) [1].

Лечебная гипертермия – это метод лечения онкологических заболеваний, при котором тело или отдельные органы подвергаются воздействию высокой температуры, в результате чего повышается эффективность применения лучевой или химической терапии [2].

Для проведения процедуры лечебной гипертермии авторы проекта предлагают вводить в организм человека наночастицы с металлическими свойствами, которые под действием внешнего магнитного поля концентрируются в тех тканях/органах человеческого тела, которые в данный момент подвергаются онкотерапии. Накопленный в тканях наноматериал подвергается нагреванию посредством внешнего магнитного поля до 41–43°C. Доказано, что температура выше 41°C вызывает запрограммированную гибель раковых клеток (нормальные клетки переносят до 44–45°C) [3].

Предложенная методика позволит осуществлять профилактику рака и предупредить рецидивы распространения опухолей.

Список литературы

1. Статистика онкологических заболеваний в мире. 2013. URL: <http://belugamed.ru/statistika-onkologicheskikh-zabolevaniy-v-mire>.
2. Девятков Н.Д. Применение электроники в медицине и биологии. Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. 1993. № 1 (455). С. 67–76.
3. Юлия Борта. Гипертермия против рака. Сибирские ученые лечат онкологию, нагревая тело человека до 43°C. Ежедневник "Аргументы и Факты" № 16 18/04/2012.

Р.Д. ШУВАЛОВ

Научный руководитель – А.В. ЗУЙКОВ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИМПЛАНТИРУЕМАЯ СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ПАЦИЕНТЕ

Данная работа посвящена разработке миниатюрного датчика, имплантируемого в ротовую полость человека (как пломба), на котором находится актуальная информация о текущем состоянии здоровья пациента.

Последнее время появилась тенденция перевода медицинских карт пациентов в электронный вид [1]. Авторами статьи предлагается датчик, который имплантируется в зуб человека в виде пломбы. Данный датчик представляет собой электронную медицинскую карту с наиболее полной и актуальной информацией, которая будет всегда находиться у пациента. Вся медицинская информация о пациенте, его история болезни, назначенные лекарства, результаты анализов, вещества, на которые у пациента есть аллергия и др. будет записана в базу данных, с помощью уникального идентификатора пациента, хранимого в «пломбе». При этом база данных не должна быть самостоятельной информационной системой, что позволит интегрировать разработку с существующими наработками в области создания электронных карт пациентов.

Если медицинскому персоналу нужно получить сведения из карты человека, он может дистанционно считать ее с датчика, и на компьютере появляется история болезни. Устройство будет полезно также в ситуации, если человек потерял сознание, а бригаде скорой помощи необходимо оказать немедленную помощь.

Предлагаемую разработку имеет смысл интегрировать, если она станет массовой и будет применяться большим числом больниц и пользователей. Для этого устройство будет дешевым и сделано из доступных стоковых компонентов.

Список литературы

1. Модуль «Электронная медицинская карта». Медицинская информационная система Медиалог, 2014. URL: http://www.postmodern.ru/?tree_id=58.

Е.С. ЖАРИКОВ

Научный руководитель – И.В. ЧУГУНКОВ, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

СРЕДСТВО ДЛЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕНИНГА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МЫШИ

Авторами статьи предлагается устройство – компьютерная мышь со встроенными датчиками, снимающими параметры психоэмоционального состояния человека, и программное обеспечение для проведения психологических тренингов.

Психологический тренинг – это специализированная тренировка, направленная на поддержание определенного психологического состояния человека. В тренинге участнику предлагается проделать различные упражнения, ориентированные на развитие или демонстрацию психологических качеств или навыков. [1]

Существует множество вариантов проведения психологических тренингов. Авторами статьи предлагается средство для психотренинга, в основе которого используется обычная компьютерная мышь со встроенными в ее корпус тремя электродами (для замера электропроводности кожи), а также специально разработанное программное обеспечение. Меняя свое настроение и психоэмоциональное состояние, пользователь может управлять мышью, например, открывая или закрывая определенные окна на мониторе компьютера. По результатам тренинга программное обеспечение определяет уровень стресса у человека. Также с его помощью можно задавать параметры тренинга и получать статистику.

Данная разработка может иметь широкий круг применения и позволит испытуемым легче справляться со своими эмоциями и эффективнее их контролировать. Например, одна из игр психотренинга предлагает передвинуть бабочку по экрану, меняя всего лишь свое эмоциональное состояние (активизация/расслабленность).

Список литературы

1. Большаков В.Ю. Психотренинг социодинамика упражнения игры. Социально-психологический центр. Санкт-Петербург, 1996.

И.Г. БУЛЫЧЕВ

Научный руководитель – Д.М. МИХАЙЛОВ, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЧЕЛОВЕКА ПО ОПРЕДЕЛЕННЫМ ТОЧКАМ НА ТЕЛЕ

В работе предлагается автоматизированный комплекс для функциональной диагностики состояния организма по определенным точкам на теле человека путем анализа электрохимической проводимости.

Автоматизированный комплекс для функциональной диагностики состояния организма человека предназначен для измерения, регистрации и обработки по соответствующей методике результатов электрохимической проводимости двадцати четырех точек двенадцати главных меридианов человека по методу Накатани [1], с целью получения информации о функциональном состоянии основных органов и систем организма человека. Комплекс дает объективную информацию о состоянии всех систем организма, что весьма важно не только для быстрой и правильной ориентации в лечении больного, но особенно важно при осмотрах значительно-го количества людей в короткий срок. За счет преимуществ метода акупунктуры при сложном диагнозе, когда современные диагностические мероприятия не дают результата, предлагаемый автоматизированный комплекс определяет проблему или существенно сужает зону диагностического поиска. [2]

Информация, снятая устройством, передается по Bluetooth на смартфон (Android), а затем на сервер, накапливающий статистику и улучшающий (корректирующий) работу прибора.

Аппарат автономный, позволяет работать удаленно от лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ) неограниченно долго, предназначен для выездной работы врача в удаленных районах, позволяет осуществить отбор пациентов для до обследования в условиях специализированного ЛПУ.

Список литературы

1. Теоретические основы метода Накатани. MedDar, 2014. URL: <http://www.meddar.ru/test-programma/izmerenia/nakatani/index.html>.
2. МЕДИСКРИН - экспресс-диагностика для детей и взрослых. МЕДИСКРИН, 2010.

А.В. АНТОНЮК

Научный руководитель – В.Я. СТЕНИН, д.т.н., профессор

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ УСИЛИТЕЛЕЙ И БУФЕРОВ ДЛЯ КЭШ ОЗУ ПО ТЕХНОЛОГИИ КМОП 28-нм

Для блока КМОП ОЗУ 28 нм спроектированы элементы усилителей считывания, а также буферов записи. Проведено моделирование элементов, выбраны оптимальные параметры. Характеристики блока промоделированы в САПР Cadence на тактовой частоте 1.5 ГГц в температурном диапазоне от -40 до 125 °С с использованием моделей tt_hvt, ff_hvt и ss_hvt библиотеки TSMC 28 нм для коммерческой объёмной КМОП технологии.

Спроектированы усилители считывания и буферы записи для блока КМОП ОЗУ 28 нм с адресным пространством 128×32 , работающего на тактовых частотах свыше 1 ГГц. Площадь, занимаемая данными элементами на кристалле, равна 448 мкм^2 , что составляет 12,3 % от площади всего блока. Для предотвращения тиристорного эффекта [1] при воздействии отдельных ядерных частиц [2] на области затворов p - и n -канальных транзисторов использованы охранные кольца площадью $103,9 \text{ мкм}^2$, что составляет 23,2 % от площади самих элементов.

Буферы записи содержат триггеры, сохраняющие входные данные по фронту тактового сигнала. Значения времени предустановки сигнала t_{setup} и времени удержания данных t_{hold} приведены в табл. 1.

Из рассмотренных вариантов усилителей считывания был выбран усилитель типа «защелка» [3]. Схема представлена на рис. 1. Считывание начинается по фронту сигнала разрешения усиления Amp_E . При включении усилителя на линиях данных уже имеется начальная разность потенциалов, соответствующая состоянию ячейки. Уменьшение задержки сигнала разрешения усиления Amp_E относительно сигнала выборки WL $t_3 = t_{Amp_E} - t_{WL}$ увеличивает быстродействие, но уменьшает стабильность. При недостаточной задержке возможно усиление ошибочного состояния ввиду воздействия помехи или статистического разброса параметров транзисторов. Был проведен анализ работы усилителя с вероятностными параметрами транзисторов по методу Монте Карло. Результаты анализа представ-

лены на рис. 2. На основании результатов была спроектирована схема, обеспечивающая задержку в оптимальном диапазоне 40-50 пс.

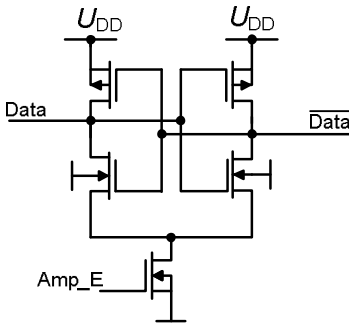


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя считывания

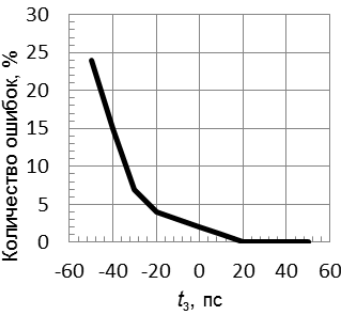


Рис. 2. Зависимость числа ошибочных считываний от задержки включения усилителя $t_3 = t_{Amp\ E} - t_{WL}$

Работа блока была промоделирована в САПР Cadence в температурном диапазоне от -40 до 125 °С с использованием моделей tt_hvt, ff_hvt и ss_hvt библиотеки TSMC 28 нм для коммерческой объёмной КМОП технологии. Моделирование проводилось при тактовой частоте 1,5 ГГц и напряжении питания 0,9 В. Значения временных параметров t_{setup} , t_{hold} и $t_{3.p.}$ (время задержки распространения) для входных данных представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Температура	Время setup, пс			Время hold, пс			Время задержки распространения, пс		
	ff	tt	ss	ff	tt	ss	ff	tt	ss
-40°C	51	61	84	25	28	33	304	326	343
25°C	48	55	72	24	27	31	261	268	288
125°C	42	50	62	24	25	30	239	243	250

Список литературы

1. Чумаков А. И. Действие космической радиации на интегральные схемы // М.: Радио и связь, 2004. С. 84, 85.
2. Nicolaidis M. Soft errors in modern electronic systems. New York: Springer, 2011.
3. Pavlov A., Sachdev M. CMOS SRAM circuit design and parametric test in nano-scaled technologies. New York: Springer, 2008. P. 26-30.

А.В. КОБЫЛЯЦКИЙ

Научный руководитель – Н.Г. ГРИГОРЬЕВ, к.т.н., с.н.с.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНО-ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИНХРОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ СЧИТЫВАНИЯ В КМОП ОЗУ

Проведен анализ влияния разброса конструктивно-топологических параметров на чувствительность синхронных усилителей считывания (УС) для статических КМОП ОЗУ. Показано, что минимизация разброса емкостей конструктивно-топологическими методами позволяет существенно повысить чувствительность УС. Разработаны наиболее эффективные конструктивно-топологические варианты УС по технологии уровня 90 нм.

Одним из основных элементов КМОП СБИС и СФ-блоков ОЗУ является усилитель считывания, предназначенный для преобразования малого сигнала считывания информации в стандартные цифровые сигналы.

Наибольшее распространение в КМОП ОЗУ получили синхронные УС, которые по сравнению с асинхронными усилителями характеризуются высоким собственным быстродействием, малой потребляемой мощностью и низкой чувствительностью к помехам на разрядных шинах и шинах питания [1].

Наиболее важным параметром УС является чувствительность, определяемая как минимальная величина входного сигнала, обеспечивающая направленное переключение УС. Анализ показывает, что чувствительность синхронного УС (рис. 1а) существенно зависит от разброса емкостей во внутренних точках Q и QN:

$$U_{эф} \sim \frac{U_{эф} - U_{порог}}{2} K \Delta C, \quad (1)$$

где $U_{эф}$ – синфазное входное напряжение, $U_{порог}$ – пороговое напряжение входных транзисторов, K – коэффициент, зависящий от начального напряжения в выходных узлах и параметров транзисторов, ΔC – разброс емкостей во внутренних точках Q и QN.

Поэтому на этапе разработки топологии усилителя необходимо минимизировать разброс емкостей в этих точках. Для этого топология УС должна выполняться таким образом, чтобы симметрично располагались

не только «плечи» усилителя, но и первые каскады нагрузочных элементов. Разводка металлизации также должна осуществляться симметрично по отношению к плечам усилителя до точек непосредственного подключения к входам элементов нагрузки.

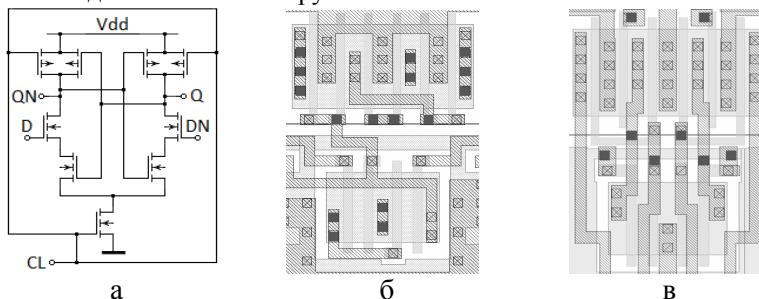


Рис. 1. Принципиальная схема (а), асимметричный (б) и симметричный (в) варианты топологической реализации синхронного УС

В таблице 1 представлены результаты расчетов суммарных емкостей в узловых точках и чувствительности УС с учетом экстракции паразитных параметров 3-х вариантов симметричных топологий УС: 1 – с асимметричной, 2, 3 – с симметричной разводкой металлов.

Таблица 1

	C_{QN} , фФ	C_Q , фФ	δC , %	$U_{\text{эф}}$, мВ
Вариант 1	3,031	2,835	6,47	48
Вариант 2	3,061	3,065	0,12	9
Вариант 3	2,817	2,820	0,12	13

Таким образом, на основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Разброс емкостей в узловых точках синхронного УС существенно влияет на его чувствительность.
2. Для повышения чувствительности УС при разработке топологии необходимо обеспечивать максимальную симметрию плеч не только самого усилителя, но и его нагрузочных элементов.
3. Разработаны наиболее эффективные конструктивно-топологические варианты УС по технологии уровня 90 нм.

Список литературы

1. Герасимов Ю.М., Григорьев Н.Г., Гусев В.В., Кобыляцкий А.В., Петричкович Я.Я. Радиационно-стойкие КМОП СБИС ОЗУ по технологии объемного кремния // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем-2014. Сб. трудов. / под общ. ред. А.Л. Стемпковского. М.: ИППМ РАН, 2014. С.272-275.

Д.А. ДОМОЖАКОВ

Научный руководитель – С.В. КОНДРАТЕНКО, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ CML-ЭЛЕМЕНТОВ

Изложены результаты проектирования линейки библиотечных CML-элементов, призванных заменить обычные КМОП ячейки в высокоскоростных блоках обработки сигналов. Приведены основные характеристики полученных элементов и результаты моделирования.

В настоящее время получили широкое распространение приемопередатчики последовательных каналов с бодовыми скоростями передачи из ряда 1.25/2.5/3.125 Гбод и выше. В условиях сегодняшнего уровня развития отечественной элементной и технологической базы для достижения таких скоростей зачастую требуется максимально использовать возможности доступной технологии и выполнять заказное проектирование ряда блоков [1]. Время, отведенное на выполнение опытно-конструкторских работ, а также вычислительная мощность используемых в процессе проектирования ЭВМ ограничены. Одной из задач разработчика электронной элементной базы является поиск новых решений в технологии проектирования, оптимизации процесса разработки.

Если аналоговые блоки можно создать только с помощью заказного проектирования, то цифровые блоки поддаются синтезу с применением стандартизированных элементов из библиотек. Целью данной работы является создание такой библиотеки.

CML-элементы имеют ряд отличительных особенностей по отношению к стандартным КМОП элементам. В частности, за счет повышенного статического тока потребления они обеспечивают высокое быстродействие [2]. Это позволяет включить их в состав высокочастотных блоков в наиболее критичных узлах устройства. Реализация возможности автоматизированного синтеза блока на основе CML-элементов в значительной степени сократит временные затраты на проектирование. В этом случае необходимо разработать линейку библиотеки в базисе CML и произвести ее характеристику.

Разработанная библиотека включает в себя буферы с коэффициентами нагрузки от 1 до 64, элементы 2И-НЕ, мультиплексоры, D-триггеры, эле-

менты исключают ИЛИ, источники режимного тока. Всего библиотека насчитывает 25 элементов.

Логический уровень единицы составляет $U_{пит}$, нуля – $2/3 U_{пит}$. Средняя точка находится на уровне $3/2 U_{пит}$. В табл. 1 приведены частоты единичного усиления при различных коэффициентах нагрузки M и токи потребления разработанных буферов.

Таблица 1. Частоты единичного усиления при различных коэффициентах нагрузки M и токи потребления разработанных буферов в нормальных условиях

Название элемента	Частота единичного усиления, ГГц			Номинальный ток потребления, мА
	$M = 1$	$M = 2$	$M = 4$	
CML BUF 01	12,81	8,69	5,39	0,1
CML BUF 02	13,60	9,07	5,53	0,2
CML BUF 04	14,15	9,33	5,64	0,4
CML BUF 08	14,41	9,44	5,66	0,8
CML BUF 16	14,51	9,44	5,67	1,6
CML BUF 32	14,68	9,55	5,71	3,2
CML BUF 64	14,54	9,43	5,64	6,4

Результаты моделирования показали, что разработанные элементы обладают быстродействием, в среднем на 50% превосходящим быстродействие элементов, выполненных в КМОП базисе. Однако глобальной замене КМОП на CML элементы препятствует сравнительно высокий режимный ток потребления последних.

Полученная библиотека была использована при разработке интерфейсных радиационно-стойких аналоговых «Hard» СФ-блоков высокоскоростного последовательного канала «GigaSpaceWire/SpaceFibre» в составе радиационно-стойкой микросхемы модуля для радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) космических аппаратов (КА), авиационной и ракетной техники различного назначения.

Список литературы

1. Герасимов Ю.М., Доможаков Д.А., Кондратенко С.В., Ломакин С., Солохина Т.В. Варианты реализации высокоскоростных КМОП приемопередатчиков на физическом уровне // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2014. Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. М.: ИППМ РАН, 2014. Часть III. С. 71-76.
2. Design of MOS Current-Mode Logic Standart Cells/ Anna Pena Martinez// Microelectronics Systems Laboratory (LSM), 2007

M.G. DROSDETSKY

Scientific instructor – G.I. ZEBREV

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)

MODELING OF DOSE EFFECTS IN BIPOLAR DEVICES DURING IRRADIATION AT LOW TEMPERATURES

Input current degradation of a bipolar integrated circuit during irradiation was simulated using system of kinetic equations for buildup and annealing of radiation induced charge in oxide and recombination centers. Remarkable that model for low temperature irradiation is almost the same as one for room temperature.

Irradiation is normally performed at room temperatures, while in real conditions, for example in space, the irradiation temperatures can be rather low. A system of kinetic equations for radiation-induced degradation buildup and annealing was proposed in Ref. [1]. The effective charge yield η_{eff} has the following form [2]

$$\eta_{eff}(P, T, d_{ox}, E_{ox}) = \eta_G(E_{ox}) \frac{(1 + 4f)^{1/2} - 1}{2f}, \quad (1)$$

where f is defined as

$$f(P, T, d_{ox}, E_{ox}) \cong \frac{q d_{ox}^2}{6 \varepsilon_{ox} \varepsilon_0 \mu_p E_{ox}^2} \eta_G(E_{ox}) K_g P \exp\left(\frac{\varepsilon_p}{k_B T}\right), \quad (2)$$

where d_{ox} is the oxide thickness, η_G is the bare charge yield at high electric fields, T is irradiation temperature, k_B is the Boltzmann constant, ε_p is the effective energy depth of the hole localized states in the oxide bulk which was experimentally found in [2] $\varepsilon_p \cong 0.39$ eV. Equations 1-2 can explain a significant reduction in total dose damage of the BJTs under low temperature irradiation in a range (-35°C - -100°C), which is observed in [3].

According to [2], the charge yield efficiency has to decrease with temperature lowering due to enhanced recombination at low temperature. The rate of the intermediate trap assisted electron-hole recombination rate is proportional to the temperature-dependent quasi-steady-state density of holes trapped onto the tail of density states in the amorphous silicon dioxide bandgap. The results of charge yield simulation at different temperatures, shown in Fig. 1, exhibit excellent agreement with the experiment at a mean depth of the hole trap states 0.4 eV.

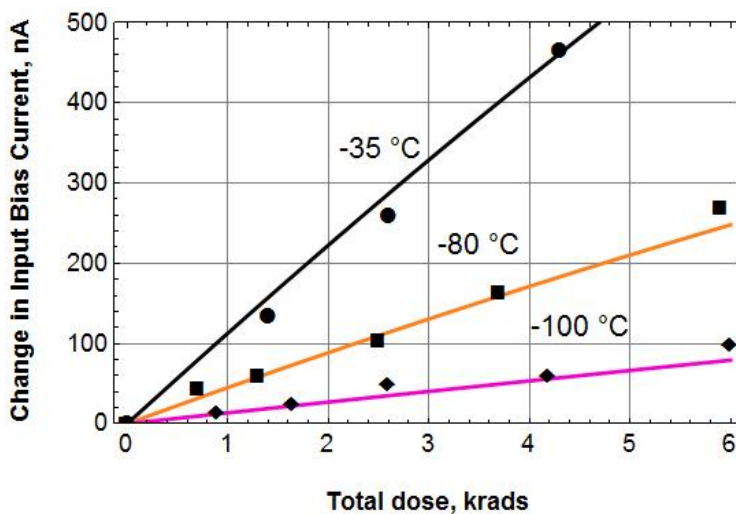


Fig. 1. Base current vs. dose for irradiations at different low temperatures (all pins were grounded during irradiation). Points show experimental results [3].
Dose rate was 0.005 rad (SiO₂)/s.

Remarkably, that this value is almost entirely coincident with the value determined experimentally at room and elevated temperature range in the original paper [2].

References

1. G.I. Zebrev, A.S. Petrov, R. G. Useinov, R. S. Ikhsanov, V. N. Ulimov, V. S. Anashin, I. V. Elushov, M.G. Drosdetsky, A.M. Galimov, "Simulation of Bipolar Transistor Degradation at Various Dose Rates and Electrical Modes for High Dose Conditions," IEEE Transactions on Nuclear Science, v.61, No.4, pp.1785-1790, 2014.
2. Zebrev G. I. , Pavlov D. Y. Et al. "Radiation Response of Bipolar Transistors at Irradiation Temperatures and Electric Biases: Modeling and Experiment", IEEE Trans. Nucl. Sci., 53(4), 1981-1987 (2006).
3. Johnston A. H., Swimm R. T., Thorbourn D. O., "Charge Yield at Low Electric Fields: Considerations for Bipolar Integrated Circuits," IEEE Trans. Nucl. Sci., 60(6), 4488-4497 (2013).

A.M. GALIMOV

Scientific Instructor – G.I. ZEBREV

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)

COMPETITION BETWEEN ELDRS EFFECT AND THERMAL ANNEALING IN BIPOLAR INTAGRETED CIRCUITS

It is shown that observed non-monotonic behavior of dose degradation in case switching to different dose rate in bipolar devices can be explained within the system of kinetic equations for the oxide trapped charge and surface recombination centers.

It is well known that there are two types of dose rate effects with opposite trends of dependencies. The first (typical, for instance, in the thin gate oxides of the MOSFETs) is determined by the time-dependent simultaneous thermal annealing, which suppresses degradation at a fixed dose with dose rate decreasing. The second one (typical for bipolar technologies with relatively thick field) is associated with the ELDRS induced effect increasing of degradation with dose rate decrease. Thus, there is a competition between oppositely directed true dose rate effect for charge yield and time-dependent thermal annealing effect. This competition can be explained by the system of non-linear rate equations (#) for the accumulation and annealing of excess input current ($\Delta I_B(D)$) and the oxide charged trap ΔN_{ox} [1].

$$\frac{d\Delta I_B}{dD} = F_{rt} \left(\frac{A_S}{A_E} \frac{\sigma_r v_t W_B}{D_B} \right) \eta_{eff}(E_{ox}) K_g I_C d_{ox} - \frac{\Delta I_B}{P \tau_{rd}}, \quad (1)$$

$$\frac{d\Delta N_{ox}}{dD} = F_{ot} \eta_{eff}(E_{ox}) K_g d_{ox} - \frac{\Delta N_{ox}}{P \tau_{ot}}, \quad (2)$$

$$E_{ox}(D) = E_{ox0} - \frac{q \Delta N_{ox}(D)}{\varepsilon_{ox} \varepsilon_0}, \quad (3)$$

where D is total dose, η_{eff} is the effective charge yield, F_{rd} and F_{ot} are the dimensionless efficiencies of recombination center and charged oxide trap generation per a radiation-induced electron-hole pair, P is dose rate, A_S is the area of the base-oxide interface, A_E is the area of the emitter-base junction, D_B is the diffusivity of minority carriers in the base, W_B is the base width, v_t is the carrier's thermal velocity ($\sim 10^7$ cm/s), σ_r ($\sim 10^{-15} - 10^{-16}$ cm²) is cross-section of carrier's capture on the recombination centers, τ_{rd} (τ_{ot}) is thermal annealing

constant for recombination centers (oxide trapped charge), I_C is the dose-independent collector current at which measurements performed.

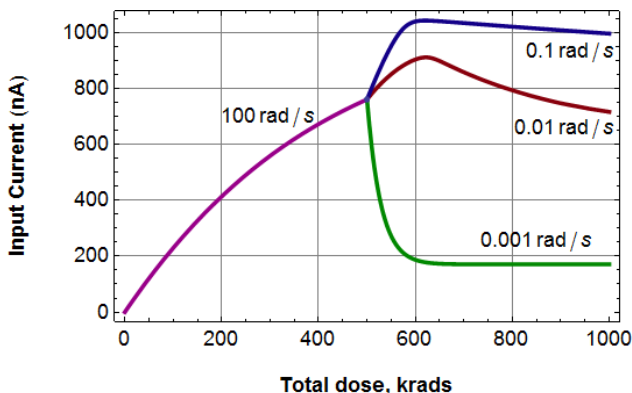


Fig 1. Simulated dose rate switching curves: switching to different lower dose $F_{rd} = 1.46 \times 10^{-2}$, $F_{ot} = 4.6 \times 10^3$, $\tau_{rd} = 3 \times 10^7$ s, $\tau_{ot} = 1.5 \times 10^8$ s

Competition between these effects simulated as follows history irradiation: initially degradation of input current simulated with the dose rate 100 rad(SiO₂)/s up to a dose 500 krad, followed by switching to 3 different dose rates. Simulation results are shown in Fig. 1. Dose rate switches to lower values cause increasing of instantaneous degradation rate due to ELDRS effect (the first term in r.h.s. of Eq.1). This is well seen from the two upper curves in Figure 1. At the same time, the annealing processes (second term in r.h.s. of Eq.1) are unaffected on dose rate. Annealing rate only depends on accumulated degradation (i.e., on pre-history) and on the current temperature. Increase of annealing time with lowering dose rate at a fixed dose would lead to compensation of ELDRS effects or even to total suppression of degradation at ultra-low dose rates. As can be seen in Figure 1, preliminary high dose irradiation may lead to different types of degradation behavior after switching to lower dose rates depending on balance of the true dose rate (ELDRS) and time-dependent annealing effects.

References

1. Zebrev G. I., M. G. Drosdetsky, A. M. Galimov, A.A. Lebedev, I. A. Danilov, V. O. Turin "Modeling and simulation of dose effects in bipolar analog integrated circuits", ICMNE 2014 SPIE Proceedings.

П.В. СТЕПАНОВ

Научный руководитель – В.Я. СТЕНИН, д.т.н., профессор

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

НИИ системных исследований РАН, Москва

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЛОГИКИ БЛОКА ОЗУ ДЛЯ КЭШ НА ОСНОВЕ 65-нм КМОП ЯЧЕЕК ПАМЯТИ ПОВЫШЕННОЙ СБОЕУСТОЙЧИВОСТИ

Разработан блок ОЗУ для КЭШ первого уровня по нормам проектирования КМОП 65 нм с использованием двухфазных ячеек памяти. В блоке применены методы уменьшения кратных ошибок в одном слове данных.

Блок ОЗУ повышенной сбоеустойчивости для КЭШ памяти первого уровня с адресным пространством 128×32 , спроектированный по технологии КМОП 65 нм, состоит из двух банков ячеек памяти типа DICE [1] и управляющей логики.

Воздействие одиночной ядерной частицы на запертый МОП транзистор вызывает импульс помехи, приводящий к сбою данных в ячейке памяти. Разделение транзисторов ячейки памяти DICE на две группы [2] и разнесение этих групп (см. рис. 1) за счет размещения между ними групп транзисторов других ячеек [3] позволяет увеличить расстояние между чувствительными узлами, снижая вероятность одновременного воздействия частицы на несколько чувствительных узлов одной ячейки. При этом, воздействие отдельно на каждую группу транзисторов не приводит к сбою. Минимальное расстояние между чувствительными областями ячейки DICE в при таком расположении транзисторов составляет 2,3 мкм.

Использование схем помехоустойчивого кодирования совместно со схемой блока ОЗУ позволяет исправлять однократные ошибки в слове данных, в то время, как исправление многократных ошибок вызывает затруднения [4]. Использование мультиплексирования линий данных 4 в 1 в данном блоке увеличивает расстояние между соседними ячейками одного слова от 1,9 мкм до 17,7 мкм, снижая вероятность возникновения неисправимых многократных ошибок в одном слове за счет увеличения количества слов с однократными ошибками, которые могут быть исправлены. Общее число сбившихся в результате воздействия ячеек памяти в блоке остается прежним.

Кроме того, использование мультиплексирования линий данных позволяет снизить число линий адреса банка ячеек памяти до 32 за счет увеличения числа линий данных. Связанное с этим уменьшение длины линии данных, а значит и времени разряда линии ячейкой памяти увеличивает быстродействие блока.

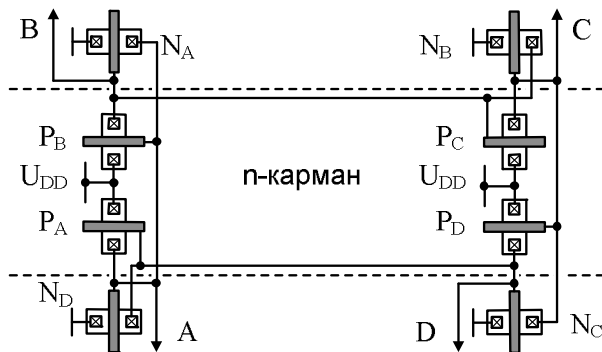


Рис. 1. Эскиз топологии триггера ячейки памяти DICE

Площадь металлизации банка ячеек памяти превышает минимально возможную площадь, занимаемую транзисторами, что дает возможность увеличить ширину транзисторов. Использование широких ЛМОП транзисторов в ячейках памяти и небольшая длина линий данных позволяет упростить схему, отказавшись от усилителей считывания. Чтение данных осуществляется с двух линий из четырех: одной прямой и одной инверсной.

Работа проводилась в рамках гранта РФФИ офи-м № 14-29-09284

Список литературы

1. Nicolaidis M. Soft errors in modern electronic systems. New York: Springer. 2011. 316 p.
2. Стенин В.Я., Катунин Ю.В., Степанов П.В. Особенности проектирования DICE элементов 65-нм КМОП статических запоминающих устройств с учетом эффекта кратного воздействия отдельных ядерных частиц // Вестник НИЯУ МИФИ. 2013. Т. 2. №3. С. 363–370
3. Стенин В. Я., Степанов П.В., "Проектирование базовых элементов памяти на основе ячеек DICE для сбоеустойчивых КМОП 28 нм ОЗУ", Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2014, // Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. М.: ИППМ РАН, 2014. Часть III. С. 163-166, Москва, 2014
4. Краснюк А.А. Петров К.А., "Особенности применения методов помехоустойчивого кодирования в суб-100-нм микросхемах памяти для космических систем", Проблемы разработки перспективных микроэлектронных систем – 2012, // Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. М.: ИППМ РАН, 2012. С. 638-641, Москва, 2012

В.В. ПУДОВ

Научный руководитель – В.Я. СТЕНИН, д.т.н., профессор
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА КОМПЕНСАЦИИ ПОМЕХИ В ЦЕПОЧКЕ 65-нм КМОП ИНВЕРТОРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОДИНОЧНОЙ ЯДЕРНОЙ ЧАСТИЦЫ

Приведены результаты электрического моделирования влияния эффекта разделения заряда между двумя КМОП инверторами в цепочке инверторов (charge sharing) при воздействии одиночной ядерной частицы [1, 2] и нахождение связи между параметрами амплитуд напряжения помех на двух соседних инверторах в цепочке $U_{\text{ПОМ.М2}}/U_{\text{ПОМ.М1}}$

Цель работы - электрическое моделирование разделения заряда между двумя КМОП инверторами в цепочке инверторов (charge sharing) при воздействии одиночной ядерной частицы [1, 2] и нахождение связи между параметрами амплитуд напряжения помех на двух соседних инверторах в цепочке $U_{\text{ПОМ.М2}}/U_{\text{ПОМ.М1}}$ с учетом расстояния от узла вывода заряда стоком транзистора первого инвертора $L1$ второго инвертора $L2$ в цепочке до трека частицы.

Моделирование осуществлялось на транзисторах по проектной норме КМОП 65 нм с шириной канала NМОП и РМОП транзисторов $W_N = 120$ нм и $W_P = 150$ нм в системе автоматического проектирования CADENCE по моделям библиотеки tsmcN65 при температуре $t = +27^\circ\text{C}$. Воздействие моделировалось двумя импульсами тока двухэкспоненциальной формы [3]; на выход первого инвертора (с амплитудой $I_{\Phi, \text{М1}} = 650$ мкА и постоянными времени: нарастания $\tau_{\text{Н1}} = 2.5$ пс, спада - $\tau_{\text{СП1}} = 5$ пс) и на выход второго инвертора (с разными амплитудами и с постоянными $\tau_{\text{Н2}} = 5$ пс и $\tau_{\text{СП2}} = 50; 100; 300; 1000$ пс). Соотношение амплитуд и постоянные времени нарастания $\tau_{\text{Н2}}$ и спада $\tau_{\text{СП2}}$ импульса тока, подаваемого на выход второго инвертора, моделируют эффект разделения заряда между первым и вторым инверторами, дающими эффект компенсации помехи. На рис. 1 приведены зависимости отношения амплитуд импульса помехи на выходе второго инвертора $U_{\text{ПОМ.М2}}$ к амплитуде импульса помехи на выходе первого инвертора $U_{\text{ПОМ.М1}}$ в зависимости от отношения интегральных зарядов, переносимых с трека частицы на выходные узлы первого и второго инверторов $Q_{\text{И2}}/Q_{\text{И1}}$.

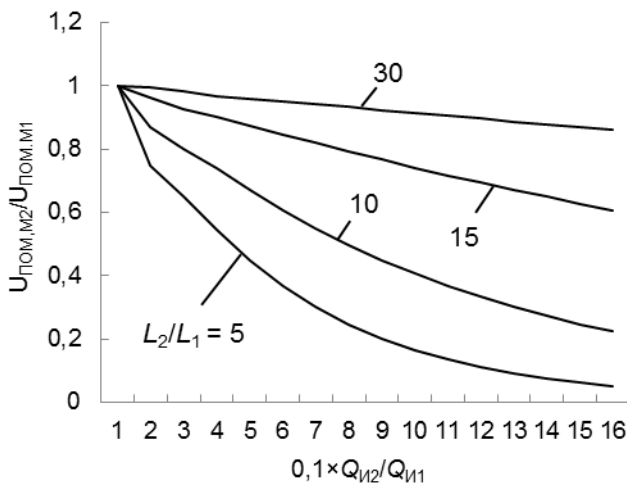


Рис. 1

Отношение интегральных (собранных) зарядов является независимой переменной функции $U_{ПМ.М2}/U_{ПМ.М1} = f(Q_{И2}/Q_{И1})$. Параметром каждой из зависимостей является отношение расстояний L_2/L_1 между узлом воздействия тока и треком частицы для областей стоков транзисторов первого и второго инверторов. Оценка расстояний осуществлялась исходя из предположения, что постоянная времени спада импульсов тока $\tau_{СП}$ определяется диффузионной постоянной $\tau_{Диф} = 4L^2/\pi^2 D_{Диф}$, где $D_{Диф}$ - коэффициент диффузии: $L_2/L_1 = \sqrt{(\tau_{Диф2}/\tau_{Диф1})}$.

Список литературы

1. Nicolaidis M. Soft errors in modern electronic systems. New York: Springer, 2011.
2. Ahlbin J.R., Massengill L.W., Bhuvu B.L., Narasimham B., Gadlage M.J., Eaton P.H. Single-event transient pulse quenching in advanced CMOS logic circuits // IEEE Transactions on Nuclear Science. - 2009. - V. 56. - № 6. - P. 3050–3056.
3. Ольчев С.И., Стенин В.Я. Двухфазные КМОП логические элементы с повышенной сбоеустойчивостью к воздействию отдельных ядерных частиц // Микроэлектроника. – 2011. Т.40. №3. С.170-183.

Д.М. АМБУРКИН

Научный руководитель – А.Ю. НИКИФОРОВ, д.т.н.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ПОВЕДЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ МОП ТРАНЗИСТОРОВ С ПРОДОЛЬНОЙ ДИФфуЗИЕЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ И ДОЗОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Представлены результаты экспериментальных исследований радиационной стойкости высокочастотных МОП транзисторов с продольной диффузией.

Технология МОП транзисторов с продольной диффузией (LD МОП) обладает преимуществами по сравнению с биполярной технологией в усилении, линейности, надежности, а также по отводу тепла [1]. По LD МОП технологии выпускается большинство современных кремниевых мощных высокочастотных (ВЧ) транзисторов. В настоящее время LD МОП технология освоена в ОАО «НПП Пульсар» и ОАО «НИИЭТ» [2].

В ряде зарубежных работ показано, что LD МОП транзисторы обладают высокой стойкостью к воздействию поглощенной дозы и нейтронов [3]. Опубликованные экспериментальные данные по стойкости отечественных ВЧ LD МОП транзисторов отсутствуют.

Целью работы являлось экспериментальное исследование параметров отечественного ВЧ LD МОП транзистора при импульсном и дозовом воздействии ионизирующего излучения, определение параметров-критериев и показателей стойкости.

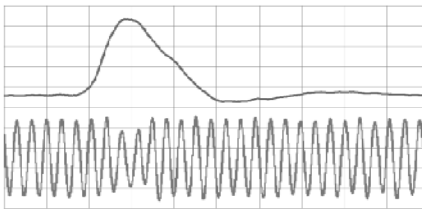
Объектом исследований являлся ВЧ LD МОП транзистор с рабочими частотами до 300 МГц, основные электрические параметры которого при включении по схеме «общий исток» приведены в табл. 1.

В результате экспериментальных исследований на импульсном ускорителе электронов «АРСА» установлены импульсные реакции (ИР) тока стока (I_c) и малосигнального коэффициента усиления (K_u). Синхронные осциллограммы ИР I_c и выходного сигнала показаны на рис. 1. Зависимости амплитуд ИР I_c и K_u от уровня воздействия показаны на рис. 2. Уровень бессбойной работы (УБР) составляет $7 \cdot 10^9$ ед/с, параметром-критерием является K_u .

Таблица 1. Основные параметры ($F=190$ МГц)

Параметр	Значение
I_c , мА	200
Упор, В	4,5
K_u , дБ	21
$P_{нас}$, дБм	32

В результате дозового воздействия наблюдалось монотонное уменьшение K_u , I_c и выходной мощности насыщения ($P_{нас}$), а также увеличение порогового напряжения ($U_{пор}$). Зависимости относительного изменения K_u , I_c , $U_{пор}$ и $P_{нас}$ от величины поглощенной дозы показаны на рис. 3. Области параметрического отказа в виде строчковой диаграммы показаны на рис. 4, уровень стойкости составляет $3 \cdot 10^4$ ед, параметр-критерий – K_u . Показатели радиационной стойкости представлены в табл. 2.



Масштаб: 15 нс/дел

Рис. 1. Синхронные осциллограммы ИР I_c (верхний луч: 0,5 мА/дел) и выходного сигнала (нижний луч: 0,4 В/дел)

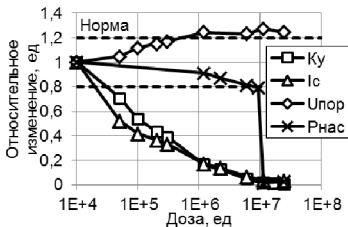


Рис. 3. Зависимости относительного изменения K_u , I_c , $U_{пор}$ и $P_{нас}$ от дозы
Таблица 2. Показатели радиационной стойкости ВЧ LD МОП транзистора

Вид воздействия	Информативные параметры	Параметр-критерий	Показатели стойкости
Импульсное	I_c , K_u	K_u	$7 \cdot 10^9$ ед/с
Дозовое	I_c , K_u , $U_{пор}$, $P_{нас}$	K_u	$3 \cdot 10^4$ ед

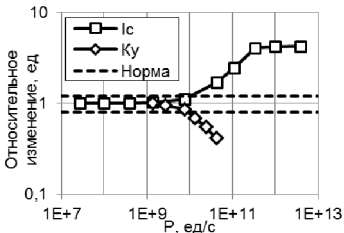


Рис. 2. Зависимости относительного изменения амплитуды ИР I_c (а) и K_u (б) от мощности дозы

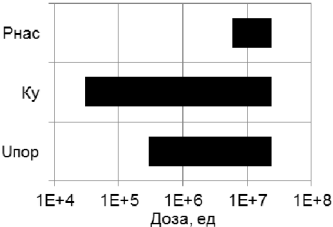


Рис. 4. Области параметрического отказа ВЧ LD МОП транзистора

Список литературы

1. High Power RF LDMOS Transistors for Avionics Applications //Microwave Journal 2000.
2. Купцова И.А. Романовский С.М. Становление и развитие мощных кремниевых ВЧ и СВЧ LDMOS транзисторов // Материалы науч.-техн. конф. М: ФГУП "НПП "Пульсар".2014.
3. Radiation Studies of Power LDMOS Devices for High Energy Physics Applications / S.Díezet al. // IEEE Tran. on Nucl. Scie. –2010. –Т. 57. –№ 6. –С.3322-3328.

А.А. КРУТОВ

Научный руководитель – В.Я. СТЕНИН, д.т.н., профессор
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПИСЬЮ И ВЫБОРКИ ДЛЯ КЭШ ОЗУ ПО ТЕХНОЛОГИИ КМОП 28-нм

Для блока КМОП ОЗУ 28 нм спроектированы элементы управления записью и выборки данных с учетом эффектов воздействия одиночных ядерных частиц. Характеристики элементов промоделированы в САПР Cadence при тактовой частоте 1.5 ГГц в диапазоне температур от -40 до +125 °С. Работа проведена с использованием библиотеки TSMC 28 для коммерческой объемной КМОП технологии с применением моделей tt_hvt, ff_hvt и ss_hvt.

Спроектированы элементы управления записью и выборки данных для блока КМОП ОЗУ 28 нм с адресным пространством 128×32 , работающие на частотах выше 1 ГГц. Блок КМОП ОЗУ занимает на кристалле площадь 3642 мкм². Элементы управления записью и выборки данных занимают 1178 мкм², что составляет 32,3% от общей площади блока КМОП ОЗУ. В топологии элементов использованы охранные кольца, которые помогают избежать возникновения тиристорного эффекта при воздействии одиночных ядерных частиц [1]. Площадь охранных колец 214 мкм².

Для сохранения адреса используется элемент, содержащий триггер, управляемый уровнем тактового сигнала. Входной элемент (см. рис. 1) содержит: 1 - инвертирующий ключ адресного сигнала, 2 – триггер, управляемый фронтом сигнала, 3 - мощный выходной инвертор.

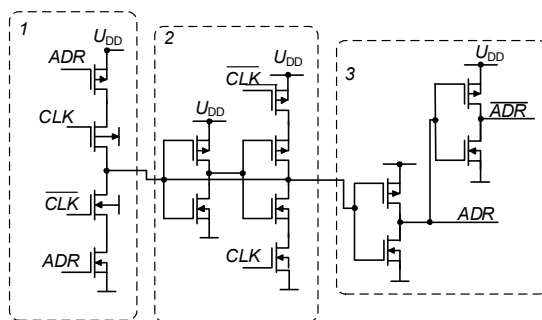


Рис. 1. Схема входного триггера адреса

От ширины канала транзисторов входного инвертирующего ключа зависит время предустановки сигнала t_{SETUP} (см. рис. 2).

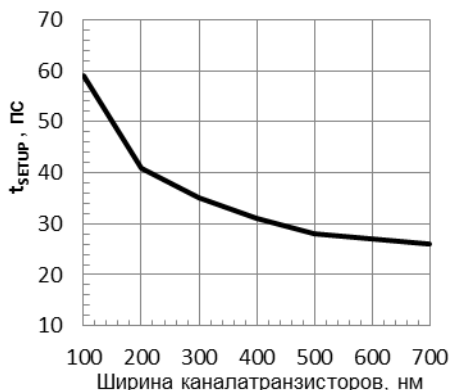


Рис. 2. Зависимость t_{SETUP} от ширины канала ММОП транзистора

Для минимизации множественных сбоев в одном слове данных в блоке использовано мультиплексирование линий данных 4 в 1. При этом ячейки блока памяти, принадлежащие одному слову, фактически разнесены на кристалле. В итоге при воздействии одиночной частицы ее трек проходит через ячейки, принадлежащие разным словам, что приводит лишь к нескольким одиночным сбоям в разных словах данных. Применив технологию избыточного кодирования, негативный эффект от попадания частицы снижается. В результате ячейки одного слова разнесены на расстояние 4 мкм, что в среднем превышает среднее значение диаметра трека частицы в полупроводнике [1].

Для декодирования адреса используется схема, построенная по принципу DWL (Divided Word Line) [2]. В данном блоке используется схема двухэтапной дешифрации адреса. На первом этапе происходит выборка 1 из 4 групп, содержащей 8 линий nWL, также выбирается одна из 8 линий в каждой группе. На втором этапе происходит выборка только одной линии nWL.

Список литературы

1. Nicolaidis M. Soft errors in modern electronic systems. New York: Springer, 2011.
2. Pavlov A., Sachdev M. CMOS SRAM circuit design and parametric test in nano-scaled technologies. New York: Springer, 2008. P. 31-33.

Ю.В. КАТУНИН

Научный руководитель – В.Я. СТЕНИН, д.т.н., профессор
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

КОМБИНИРОВАНИЕ ДВУХФАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ДУБЛИРОВАННОЙ ТРАДИЦИОННОЙ ЛОГИКИ В СХЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХФАЗНЫМ ТРИГГЕРОМ-ЗАЩЕЛКОЙ DICE

Обоснована возможность частичной замены двухфазных комбинационных элементов, характеризующихся повышенной помехоустойчивостью, дублированной обычной логикой при условии наличия хотя бы одного двухфазного элемента перед входом D триггера

Неизменным для всех проектных норм остается требование, предъявляемое к двухфазным элементам в части пространственного разнесения их дифференциальных частей на расстояние не менее 1.5...2.0 мкм. Постоянная времени переходного процесса в линии межсоединений постоянной длины обратно пропорциональна произведению значений толщины линии металлизации и толщины межслойного диэлектрика [1]. Поэтому при проектных нормах 28 нм ожидается существенное ухудшение быстродействия схем на двухфазной логике.

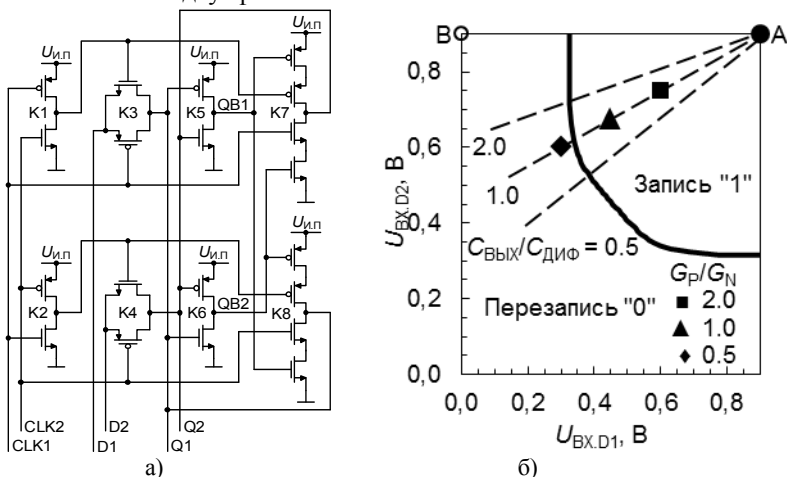


Рис. 1. Двухфазный триггер-защелка DICE: а) схема; б) переключательная характеристика в исходном состоянии "0"

Решение указанной проблемы предполагается заменой части двухфазных элементов комбинационной схемы их однофазными дублируемыми аналогами. На рис. 1а представлена схема распространенного двухфазного триггера-защелки DICE, а на рис. 1б – его переключательная характеристика в исходном состоянии “0”, представляющая две области точек ($U_{BX,D1}$; $U_{BX,D2}$), в одной из которых происходит перезапись исходного состояния (“0”), а другой – запись нового состояния (“1”), и полученная с использованием svt-моделей транзисторов объемной КМОП-технологии с длиной канала 30 нм в угле t_t при температуре 25 °С.

Если данные подаются на входы триггера с продублированной цепочки однофазных комбинационных элементов, то распространяющаяся в одной из цепочек помеха, дойдя до входа триггера-защелки, вызовет сбой записи данных (смещение из точки А в точку В). Наличие же двухфазного элемента перед входами данных триггера в случае импульса помехи на одном из его входов приводит к смещению точки входных сигналов триггера из точки А по одной из семейства прямых, определяемого системой уравнений, полученной на основе выражений, представленных в [2]:

$$\begin{cases} U_{НВ,ин} = U_{НВ} \left(1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{G_P}{G_N} \right)} \right), \\ U_{ВН,ин} = U_{ВН} \left(1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{G_P}{G_N} \right) \left(1 + \frac{C_{диф}}{C_{вых}} \right)} \right), \end{cases} \quad (1)$$

где $C_{вых}$ – собственная емкость выходного узла двухфазного элемента, $C_{диф}$ – емкость связи дифференциальных выходов двухфазного элемента, а G_P и G_N – соответственно, проводимости плеча РМОП и плеча НМОП транзисторов, которые оказываются открытыми при воздействии помехи на один из входов двухфазного элемента.

При замене двухфазной логики дублированной однофазной следует использовать в качестве фильтра импульсов помехи (SET) хотя бы один двухфазный элемент перед входом данных триггера-защелки DICE.

Работа проводилась в рамках гранта РФФИ № 14-29-09284.

Список литературы

1. Meindl J.D. Beyond Moore's Law: the interconnect era // Computing in Science & Engineering. 2003. Vol. 5. № 1. P. 20–24.
2. Катунин Ю.В., Стенин В.Я. Двухфазный 28 нм КМОП инвертор как элемент повышенной помехоустойчивости к эффектам воздействия одиночных ядерных частиц // Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». 2014. Т.2. — №5. С. 363–370.

К.Э. ЛЕВИН

Научный руководитель – В.Я. СТЕНИН, д.т.н., профессор
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ДЕКОДЕР ХСЯО (72, 64) ПО ТЕХНОЛОГИИ 28-нм КМОП

Приведены результаты моделирования декодера ХСЯО (72,64), спроектированного на двухфазных элементах, по проектным нормам КМОП 28 .

В настоящее время самыми распространенными эффектами, возникающими в запоминающих устройствах, вследствие воздействия ядерных частиц, являются однократные и многократные сбои, которые ведут к переключению одного хранящегося в кодовом слове бита [1].

Повышение надежности хранения данных в КМОП ОЗУ не может быть осуществлено без использования блоков сбоеустойчивого кодирования, а именно кодеров и декодеров, при кодировании данных и записи в ОЗУ и их обратном декодировании [2]. Поэтому актуальной задачей является построение декодеров для КМОП ОЗУ с малыми (суб-100-нм) проектными нормами, которые должны обеспечить снижение вероятности потери информации при сбоях состояний отдельных ячеек памяти ОЗУ.

В данной работе использован автоматизированный синтез нетлиста по поведенческой модели блока декодера Хсяо (72, 64) с упрощенной схемой вычисления вектора ошибки, после чего был произведен синтез топологии из нетлиста с использованием предварительно спроектированной библиотеки двухфазных элементов. Двухфазные логические элементы позиционируются как средство повышения сбоеустойчивости цифровых схем [3], поэтому проектируемый декодер представляет собой схему на двухфазных логических элементах И-НЕ, ИЛИ-НЕ, ИСКЛ-ИЛИ, ИСКЛ-ИЛИ-НЕ и ИНВЕРТОР. Конверторы двухфазных логических элементов разнесены пространственно за счет линейного чередования составляющих их комплементарных пар транзисторов. При проектировании топологий двухфазных элементов и декодера Хсяо (72,64) были приняты меры по защите от тиристорного эффекта, использованы охранные кольца.

После проектирования топологии блока декодера был произведен его функциональный контроль. Логическое тестирование блока осуществлялось с использованием утилиты SimVision от фирмы Cadence, были учтены задержки распространения сигналов в логических элементах и правильность работы декодера. Полученные данные представлены в табл. 1.

В табл. 2 приведены значения параметров, при которых проводился синтез и моделирование декодера Хсяо.

Таблица 1. Параметры декодера Хсяо на двухфазной логике

Параметр	Минимальное значение	Типовое значение	Максимальное значение
Критический путь, пс	297	483	923
Статический ток потребления, мкА	0.19	11.2	21.4
Динамический ток потребления ($f = 1.5$ ГГц), мкА	740.3	912.3	1059.3
Площадь, мкм ²	4290	4290	4290

Таблица 2. Значения внешних параметров, при которых синтезировался декодер Хсяо

Значения параметров	Задержка, пс	Температура, °C	$U_{ип}$, В
Минимальное	80	-40	0.81
Типовое	50	25	0.90
Максимальное	20	-40	0.99

Полученные в итоге моделирования блок декодера Хсяо (72,64) занимает три слоя металлизации и составляет площадь 4290 мкм². Полученные характеристики по быстродействию и токопотреблению позволяют рекомендовать к использованию полученный блок в составе ОЗУ, а для проектирования нерегулярных топологических структур использовать маршрут автоматизированного синтеза.

Работа проводилась в рамках гранта РФФИ № 14-29-09284.

Список литературы

1. Borucki L., Schindlbeck G., Slayman C. Comparison of accelerated DRAM soft error rates measured at component and system level// IEEE 46th Annual International Reliability Physics Symp.Phoenix, 2008. P. 482–487.
2. Краснюк А.А., Петров К.А. Особенности применения помехоустойчивого кодирования в суб-100 нм микросхемах памяти для космических систем // Микроэлектроника. 2012. Т. 4. №4. С. 450–456.
3. Ольчев С.И., Стенин В.Я. Двухфазные КМОП логические элементы с повышенной сбоеустойчивостью к воздействию отдельных ядерных частиц // Микроэлектроника. – 2011. Т.40. №3. С. 156–169.

С.Б. ШМАКОВ

Научные руководители – А.В. УЛАНОВА, к.т.н., доцент

А.Б. БОРУЗДИНА, научный сотрудник

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ИМПУЛЬСНОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КМОП КНИ СБИС

В работе представлены результаты, подтверждающие возможность обеспечения предельных уровней воздействия для КМОП КНИ СБИС при проведении радиационного эксперимента с использованием источника лазерного излучения путем выбора оптимальной длины волны.

Проведение испытаний сверхбольших интегральных схем (СБИС) на стойкость к импульсному ионизирующему воздействию (ИИВ) требует достигать уровней воздействия, которые могут превышать возможности моделирующих установок (МУ). Одним из способов решения этой проблемы является применение лазерных методов.

Оценка показателей стойкости СБИС осуществляется пересчётом интенсивности лазерного излучения $I_{\text{л}}$ ($\text{Вт}/\text{см}^2$) в эквивалентные (по отклику СБИС) уровни импульсного излучения $P_{\text{э}}$ ($\text{рад}/\text{с}$).

$$P_{\text{э}} = K I_{\text{л}},$$

где K коэффициент калибровки, учитывающий потери лазерного излучения на слоях металлизации [1].

По причине конструктивных особенностей, в КНИ транзисторе ионизация в подложке не влияет на реакцию схемы, доминирующим является ионизация приборного слоя, толщина которого составляет порядка нескольких десятков-сотен нанометров в зависимости от технологии.

На рис. 1. приведена зависимость коэффициента межзонного поглощения в слаболегированном кремнии от длины волны излучения для КМОП КНС СБИС [2]. При облучении СБИС со стороны приборного слоя с уменьшением длины волны всё большая часть излучения будет поглощаться в приборном слое, и, как следствие, при одинаковой интенсивности лазерного излучения уровень эквивалентной мощности будет выше.

В целях подтверждения возможности применения подобного подхода [3] для КМОП КНИ СБИС был проведён эксперимент. Объектом исследо-

вания являлись микросхемы СОЗУ информационной емкостью 1 Мбит, изготовленные по КМОП КНИ технологии 0,25 мкм с 4 уровнями металла. В ходе эксперимента определялись уровни (в интенсивностях лазерного излучения) бессбойной работы при длинах волн 0,53, 0,87, 0,9 и 1,06 мкм (рис. 2).

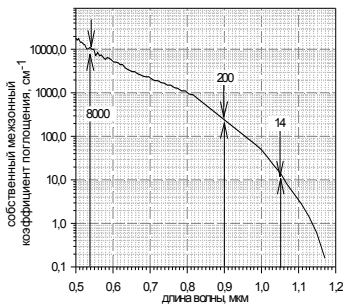


Рис. 1. Зависимость собственного межзонного коэффициента поглощения светового излучения в слаболегированном кремнии от длины волны излучения [2]

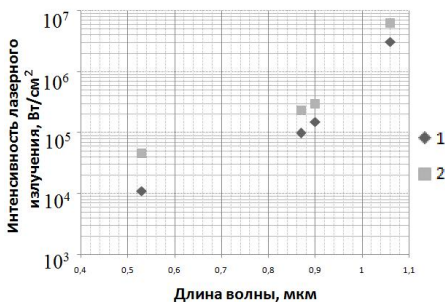


Рис. 2. Зависимости уровня параметрического и функционального отказов

1. Уровень, при котором на выходе схемы логический уровень нуля выходит за норму.
2. Уровень, при в котором появляется функциональный отказ.

Полученные экспериментальные зависимости свидетельствуют о том, что с уменьшением длины волны повышается эффективность поглощения лазерного излучения в КМОП КНИ СБИС. Для достижения предельных уровней импульсного ионизирующего воздействия для данного класса изделий следует использовать более короткие длины волн.

Список литературы

1. Яненко А.В., Никифоров А.Ю., Скоробогатов П.К., Чумаков А.И. Экстремальная электроника, Москва 2014.
2. Handbook of optical constants of solids. /Edited by E.Palik. Academic press, 1985.
3. Уланова А.В. Диссертация на соиск. степени к.т.н. «Прогнозирование эффектов функциональных сбоев в микросхемах запоминающих устройств на структурах "кремний-на-сапфире" при импульсных ионизирующих воздействиях», 2007 г., 220 стр.

И.И. ШВЕЦОВ-ШИЛОВСКИЙ, А.А. СМОЛИН
Научный руководитель – П.В. НЕКРАСОВ, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ МАЛОЙ АМПЛИТУДЫ (ПОРЯДКА ПИКОАМПЕР)

Рассматриваются особенности измерения токов малой амплитуды и методы, позволяющие повысить точность и скорость измерений.

В рамках решения задачи определения параметров транзисторов (например, токов утечки) и их изменения в ходе радиационного эксперимента предъявляются высокие требования как к точности измерений, так к продолжительности измерительного цикла. С одной стороны, каждое отдельное измерение должно занимать как можно меньше времени, чтобы избежать эффектов, связанных с разогревом транзисторов [1], а также чтобы весь измерительный цикл длился не больше промежутка времени, определяемого заданным соотношением между измерением и временем облучения (как правило 1 к 10). С другой стороны, увеличение времени, отводимого на измерение каждой точки ВАХ, позволяет повысить точность как за счет большей длительности каждого измерения, так и за счет проведения нескольких измерений с дальнейшим усреднением.

В лаборатории ИЭПЭ НИЯУ МИФИ разработаны элементы аппаратно-программного комплекса для автоматизированного измерения ВАХ транзисторов. Аппаратная часть измерительного комплекса построена на основе модульной платформы PXI фирмы National Instruments [1] и управляется с помощью программы, разработанной в среде NI LabVIEW. Измерение тока проводится с помощью мультиметра NI PXI-4071, работающего в режиме амперметра и имеющего разрешение до 1 пА. Программа в реальном времени анализирует получаемые данные и по результатам анализа принимает решение о коррекции времени оцифровки одного измерения, числа измерений для последующего усреднения или о необходимости повторного измерения некоторой точки ВАХ.

При построении системы для измерения малых токов требуется с особой тщательностью подходить к выбору измерительного оборудования и электронных компонентов. При необходимости контроля напряжения вольтметр, входное сопротивление которого, как правило, не превышает десятков ГОм, должен подключаться через прецизионный операционный

усилитель с входным сопротивлением не менее 1 ТОм, чтобы входной ток измерительного модуля в целом не превышал 1 пА.

При измерении малых токов особенно важным становится поддержание заданных и постоянных условий, в которых проводятся измерения. Установлено, что при влажности в помещении выше 60% утечки по поверхности печатной платы делают практически невозможными измерения токов меньших 1 нА. В ходе создания комплекса разработана специальная камера, в которую помещалась печатная плата с исследуемым образцом и пакетики силикагеля, обеспечивавшие низкую влажность в камере.

Была разработана и напечатана на 3D-принтере колодка, позволившая обеспечить надежный контакт между контактами корпуса образца и посадочными площадками на печатной плате без необходимости паять образец на плату без риска повредить его статическим электричеством или высокой температурой.

Сравнение различных типов кабелей показало, что наилучшим решением для подключения измеряемого устройства к амперметру является экранированная витая пара 5 категории, так как она, с одной стороны, обеспечивает необходимую помехозащищенность благодаря экрану из фольги, а с другой стороны имеет меньшую по сравнению с коаксиальным кабелем емкость между сигнальной линией и экраном. Процесс заряда этой емкости малым измеряемым током может вносить серьезные искажения в результат измерений [3].

Дальнейшее развитие комплекса предполагает переход на использование триаксиального кабеля, внутренний экран которого подключен к выходу повторителя, на вход которого подается исследуемый сигнал, а внешний экран заземлен, так как данная конструкция обеспечивает лучшую помехозащищенность и устраняет проблему искажений исследуемого сигнала вследствие заряда емкости кабеля [4].

Список литературы

1. F. Sischa "IC-CAP Modelling Handbook", October 2010.
2. <http://www.ni.com/pxi/> – раздел на сайте National Instruments
3. Low Level Measurements Handbook – Precision DC Current, Voltage and Resistance Measurements, 7th edition" Keithley Instruments, Inc, 2013.
4. A. Rich "Shielding and guarding" Analog Dialogue, vol. 17, no. 1, pp. 8-13, 1983.

И.И. ШВЕЦОВ-ШИЛОВСКИЙ, А.А СМОЛИН
Научный руководитель – П.В. НЕКРАСОВ, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

КРИТИЧНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ КНИ ТРАНЗИСТОРОВ ПРИ ДОЗОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Рассматриваются различия в поведении транзисторов, находящихся при дозовом воздействии в разных электрических режимах; определяется наихудший с точки зрения параметров транзистора режим.

В технологии кремний на изоляторе (КНИ) транзисторы формируются в тонком приборном слое кремния, расположенном на слое углубленного оксида (Buried Oxide – BOX) [1]. Однако углубленный оксид выступает в роли подзатворного диэлектрика в присущей КНИ технологии паразитной структуре – донном транзисторе [2]. Радиационно-индуцированный сдвиг порога паразитного транзистора, вызванный накоплением положительного заряда в углубленном оксиде, приводит к увеличению токов утечки транзистора и, следовательно, к увеличению тока потребления микросхемы в целом.

В лаборатории ИЭПЭ НИЯУ МИФИ проведены испытания частично обедненных р- и n-МОПТ КНИ транзисторов с разной длиной затвора (0,6 мкм и 4,8 мкм для n-МОПТ; 0,6 мкм и 7,2 мкм для р-МОПТ) и шириной затвора (1,4 мкм и 4,8 мкм для n-МОПТ; 1,4 мкм и 7,2 мкм для р-МОПТ). Транзисторы также различались по типу контакта к плавающему телу: транзисторы с независимым контактом к телу и транзисторы с контактом к телу, закороченным с истоком.

Определен сдвиг порога основного и донного транзистора в зависимости от величины накопленной дозы.

Испытания проведены в различных электрических режимах (приведены потенциалы для n-МОПТ транзисторов, для р-МОПТ транзисторов потенциалы инверсные): «ON» – 0В на стоке и истоке, 5В на затворе; «OFF» – 5В на стоке, 0В на истоке и затворе; «TG» (Transmission Gate) – 5В на стоке и истоке, 0В на затворе. На подложку во всех случаях подавался нулевой потенциал.

Было установлено, что наибольший сдвиг порога донного транзистора наблюдается в режиме TG, в особенности для транзисторов с независимым контактом к телу. В связи с этим было проведено дополнительно испытание транзисторов в режиме TG (режим «TG_2») при отрицатель-

ном смещении на подложке равным минус 2 В. Для транзисторов с контактом к телу, закороченным с истоком, критичным режимом являлся режим «OFF».

Пример зависимости напряжения порога донного транзистора от значения накопленной дозы приведен на рис. 1. Относительные изменения параметров при воздействии $400 \cdot 10^3$ ед. приведены в табл. 1.

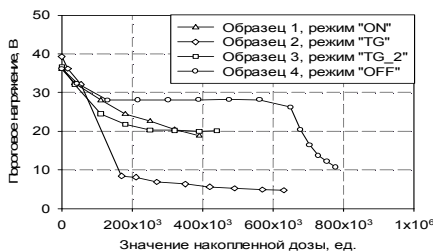


Рис. 1. Зависимости напряжения порога донного транзистора с длиной 0,6 мкм и шириной 1,4 мкм от значения накопленной дозы

Таблица 1 – Относительный сдвиг порога транзисторов (МОПТ) для разных режимов

Режим	Относительный сдвиг порога МОПТ	
	основного	донного
ON	50%	2,5%
OFF	25%	3%
TG	85%	15%
TG_2	45%	2%

Было установлено, что наихудшим режимом является режим «TG», что особенно проявляется у транзисторов Н-типа с независимым контактом к телу. Этот результат объясняется тем, что в режиме Transmission Gate, по сравнению с другими электрическими режимами, имеет место большая по модулю отрицательная напряженность электрического поля в направлении, перпендикулярном границе раздела углубленный оксид - приборный слой [3]. Отрицательное смещение на подложке уменьшает сдвиг порога, так как отрицательный потенциал на затворе донного транзистора снижает ток утечки по обратному каналу, оттягивая радиационно-индуцированные положительные заряды в сторону подложки.

Список литературы

1. B. Ullicki "SOI Fundamentals", SOI Industry consortium conference, October 2009.
2. J.R. Schwank, V. Ferlet-Cavrois, M.R. Shaneyfelt, P. Paillet, P.E. Dodd "Radiation Effects in SOI Technologies", IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 50, no.3, pp. 522-538, June 2003.
3. V. Ferlet-Cavrois, T. Colladant, P. Paillet, J.L. Leray, O. Musseau, J.R. Schwank, M.R. Shaneyfelt, J.L. Pelloie, J. du Port de Poncharra "Worst-Case Bias During Total Dose Irradiation of SOI Transistors", IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 47, no. 6, pp. 2183-2188, December 2000.

Е.А. МЕХОВСКИЙ, М.Е. ЧЕРНЯК

Научный руководитель – А.В. УЛАНОВА, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

СРАВНЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА В КМОП- И ПЗС-МАТРИЦАХ

В данной статье рассматривается влияние радиационного излучения на КМОП- и ПЗС- матрицы. Рассмотрены основные дефекты возникающие в результате взаимодействия с излучением. Приведены результаты испытаний КМОП-матрицы FPA320x240 и ПЗС-матрицы ICX259AL фирмы SONY.

При использовании массива фоточувствительных элементов в условиях космоса, необходима оценка запаса радиационной стойкости. Основными причинами изменения технических характеристик матрицы являются дозовые и одиночные эффекты.

Дозовые эффекты проявляются в результате накопления захваченного заряда в объемах окисла и заполнения ловушек на границе раздела диэлектрик-полупроводник. Радиационно-индуцированный заряд увеличивает темп термической генерации электронно-дырочных пар в пикселях ПЗС-матрицы, что приводит к увеличению темнового сигнала [1] (рис.1). Аналогичные изменения темнового сигнала после дозового воздействия наблюдаются и в КМОП-матрицах, однако основной причиной увеличения являются подзатворные токи утечек в структурах пикселей. Также к особенностям КМОП-сенсоров можно отнести деградацию более сложной по сравнению с ПЗС периферией [2]. На рис. 2приведено изображение отказа системы адресации КМОП-матрицы.

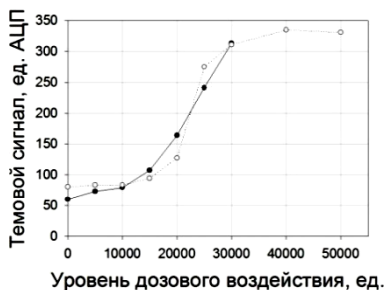


Рис. 1. Деградация темнового сигнала ПЗС-матрицы при дозовом воздействии



Рис. 2. Отказ системы адресации КМОП-матрицы

Одиночные эффекты в КМОП- и ПЗС-матрицах проявляются при воздействии отдельных ядерных частиц (ОЯЧ), таких как протоны, нейтроны и ионы. Можно выделить переходные и устойчивые одиночные эффекты.

В результате воздействия ОЯЧ в объеме полупроводника выделяется первичный заряд, который воспринимается сенсором как световой сигнал. Данный эффект характерен как для ПЗС-, так и для КМОП-матриц, а его длительность составляет не более 1 мс (рис.3).

Устойчивые эффекты проявляются в виде пикселей с увеличенным сигналом и сохраняются в течение нескольких дней или недель (рис.4). Основной причиной подобной деградации является образование структурных дефектов в объеме сенсора. Данные образования могут выступать в роли центров генерации или захвата заряда, увеличивающих сигнал, получаемый от пикселя[1].

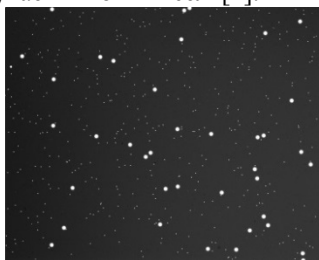


Рис. 3. Переходные эффекты в КМОП-матрице при воздействии ионами неона

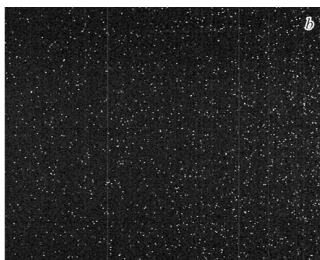


Рис. 4. Устойчивые эффекты в ПЗС после воздействия протонами

Спецификой КМОП-матриц является наличие тиристорного эффекта, приводящего к резкому увеличению тока потребления схемы, что может привести к катастрофическому отказу. Для парирования данного эффекта необходимо произвести своевременный сброс и восстановление питания матрицы.

В результате проведенного анализа можно сделать заключение о схожести радиационных эффектов в КМОП- и ПЗС-матрицах. Однако в ходе эксперимента необходимо учитывать особенности КМОП-сенсоров, такие как наличие тиристорного эффекта и деградацию обрабатывающей периферии.

Список литературы

1. Hopkinson G.R. Radiation-induced Dark Current Increases in CCDs // Radiation and its Effects on Components and Systems, 1993.
2. Cherniak M.E., Ulanova A.V., Nikiforov A.Y. Infrared Focal Plane Array FPA320x256 Radiation Hardness Investigation // 29th International Conference on Microelectronics, Belgrade, Serbia 2014, pp. 171-172.

Е.В. ПЕТРОВА, Н.А. КОМАРОВА

Научный руководитель – А.В. УЛАНОВА, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**МЕТОДЫ ЗАДАНИЯ РАВНОМЕРНОЙ ЗАСВЕТКИ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ МАТРИЦЫ**

В работе рассмотрены два метода получения равномерного светового потока: использование интегрирующей сферы и использование сочетания массива светодиодов и матированного стекла. Приведены преимущества и недостатки каждого из вариантов. Для апробации метода с матированным стеклом был собран макет для равномерной засветки фоточувствительной матрицы. Получена гистограмма распределения яркости всех пикселей фотоприемника.

Одним из основных параметров фоточувствительной матрицы является среднее квадратичное отклонение (СКО) неравномерности сигнала - разброс сигнала пикселей относительно среднего по кадру значения. Для измерения данного параметра в ходе исследований фотоприемников на радиационную стойкость необходимо иметь источник задания равномерной засветки.

На рис. 1 приведены диаграммы направленности стандартных источников и источников равномерной засветки. Диаграмма направленности отражает телесный угол распределения освещения и снижение интенсивности с расстоянием. Для источников равномерной засветки характерна полуширокая диаграмма. Для анализа были выбраны два метода задания равномерной засветки: использование интегрирующей сферы и сочетание светодиодов и матированного стекла.

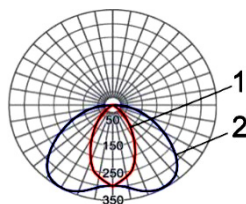


Рис.1: Диаграммы направленности для стандартного источника (1) и для источника равномерной засветки (2)

Интегрирующая сфера представляет собой полый шар, покрытый изнутри раствором с повышенным показателем отражения. Сфера имеет два отверстия: входное, для ввода неоднородного пучка света источника, и выходное, для выхода многократно переотражённого рассеянного света.

Основными недостатками использования данного метода являются высокая стоимость, а также затруднения с транспортировкой и установкой при радиационном эксперименте.

Плюсом интегрирующей сферы является наличие расширенных возможностей для фотометрических измерений за счет встроенных калиброванных фотодиодов, а также высокая степень равномерности света.

Другим вариантом задания равномерной засветки является использование стекол со специально созданной матовой (шероховатой и непрозрачной) поверхностью. Данный метод является простым в реализации и удобным для измерения параметров на необходимых расстояниях от источника излучения.

В условиях радиационного эксперимента удобнее использовать второй метод в виду большей мобильности, т.к. интегрирующая сфера подходит для фиксированного на рабочем месте стенда.

Для фиксации светодиодов и матированного стекла на определенном расстоянии был собран фиксирующий каркас (рис. 2). Полученное с фоточувствительной матрицы изображение было обработано в программных средах Adobe Photoshop и LabView в форматах CR2 и JPEG соответственно (табл.1).

В результате работы был апробирован метод задания равномерной засветки с помощью сочетания массива светодиодов и матированного стекла. СКО неравномерности для данного решения составило 2,1 %. Также сравнивая полученные гистограммы можно сделать вывод о необходимости анализа изображения в исходном формате.

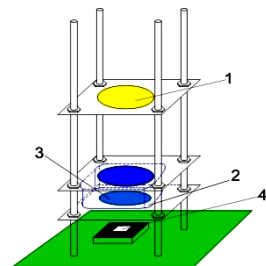


Рис.2 Макет создания равномерной засветки матрицы (1-массив светодиодов, 2- матированное стекло, 3- рассеянный свет, 4- фоточувствительная матрица)

Формат	
CR2	JPEG
Гистограмма яркости пикселей	
СКО, ед.АЦП	
2,37	1,86
СКО,%	
2,1	1,6

Таблица 1 - Результаты обработки изображения

Список литературы

1. Иофис Е.А. Фото,Кино,Техника // Советская Энциклопедия, 1981.

Н.А. КОМАРОВА

Научный руководитель – А.В. УЛАНОВА, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ МАТРИЦЫ
ПО ПОЛУЧЕННОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ**

В статье рассмотрены методические подходы к расчетному определению значений параметров фоточувствительных матриц по полученному в процессе радиационного эксперимента изображению.

В процессе исследований радиационной стойкости фоточувствительных матриц (FPA) необходимо контролировать не только электрические, но и фотометрические параметры. В результате анализа получаемого изображения можно оценить эффективность и точность преобразования входного светового потока в электрический сигнал.

В таблице 1 приведены параметры, контролируемые с помощью анализа полученного изображения.

Таблица 1. Измеряемые параметры FPA-матрицы

Наименование параметра, ед. изм.	Обозначение
Средний уровень сигнала пикселей, ед. АЦП	ΔV_{mean}
Среднее квадратичное отклонение (СКО) шума пикселей, ед. АЦП	ΔV_{nT}
СКО неравномерности сигнала пикселей, ед. АЦП	δV_{TS}

Для апробации методики контроля параметров с равномерно освещенной фоточувствительной матрицы было получено тестовое изображение. Обработка изображения и измерение параметров проводились в программной среде LabView.

На рис. 1 показана структура цветного пикселя (фильтр Байера) типовой FPA-матрицы. Пиксель состоит из четырех фотодиодов с цветовыми фильтрами, причем фильтров зелёного цвета в два раза больше. В результате разрешающая способность такой структуры максимальна в зелёной части спектра, что соответствует особенностям человеческого зрения.

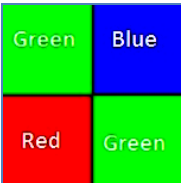


Рис. 1. Структура цветного пикселя

Для корректной оценки сигнала необходим перевод из цветового сигнала (красного, зеленого и голубого) в яркостный сигнал по формуле (1). Также рассчитано среднее значение яркости по формуле (2):

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (1) \quad \Delta Y_{mean} = \frac{\sum_i \sum_j Y[i,j]}{N_i \cdot N_j} \quad (2)$$

где Y – значение яркости, R, G, B – значения красного, зеленого и голубого в каждом пикселе соответственно. $Y[i,j]$ – значение яркости пикселя с номером i, j , $N_i \cdot N_j$ – количество пикселей в анализируемой области [1].

Также было рассчитано СКО неравномерности сигнала - разброс значений яркости пикселей относительно среднего значения. Разброс может возникнуть из-за неравномерности засветки, геометрической разницы пикселей и наличия шумов (тепловой, шум оснастки). Расчет СКО неравномерности сигнала пикселей проводился при получении одного кадра по формуле:

$$\Delta Y_{TS} = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j Y[i,j]^2 - \Delta Y_{mean}^2}{N_i \cdot N_j}} \quad (3)$$

При съемке двух последовательных кадров, значения яркости одних и тех же пикселей могут отличаться из-за наличия теплового шума в полупроводниках и шума считывающей оснастки. Расчет СКО шума пикселей производится при получении двух последовательных кадров при одинаковой экспозиции по формуле аналогичной (3):

Была построена гистограмма распределения яркости всех пикселей (рис.2). По оси абсцисс отложены значения яркостей пикселей, рассчитанные по формуле (1). По оси ординат – количество пикселей, соответствующее определенному значению яркости.

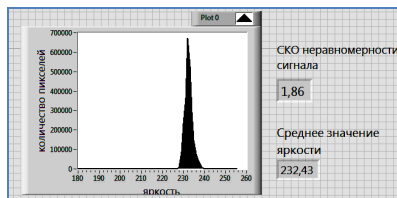


Рис. 2. Гистограмма распределения яркостей всех пикселей

Таким образом, отработана методика экстракции параметров фоточувствительной матрицы на основе анализа полученного изображения. Планируется апробация данной методики при радиационных испытаниях КМОП матрицы МТ9М131С12СТС.

Список литературы

1. Хрящев Д.А. Предварительная обработка и анализ цифровых изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности // Астраханский государственный технический университет, 2013.

М.П. БЕЛОВА

Научный руководитель – Д.В. БОЙЧЕНКО, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ И DC/DC-КОНВЕРТЕРОВ

В статье рассматривается созданный автоматизированный измерительный комплекс для контроля параметров стабилизаторов напряжения и DC/DC конвертеров. Описаны основные преимущества и приведен пример результатов, полученных с помощью использования разработанного комплекса.

Важной задачей при разработке аппаратуры космического применения является создание эффективной системы электропитания. Исходя из специфики условий эксплуатации космических аппаратов, становится актуальной задача исследования радиационной стойкости компонентной базы этих аппаратов. Чтобы повысить эффективность и производительность радиационных исследований вторичных источников питания необходимо, на сколько это возможно, исключить влияние человеческого фактора на процесс измерения параметров-критериев работоспособности исследуемых объектов. Для решения этой задачи был создан автоматизированный измерительный комплекс[1-4], предназначенный для измерения параметров-критериев работоспособности вторичных источников питания в процессе радиационного воздействия на таких установках, как линейный ускоритель электронов, изотопный источник и др. [5].

Испытательный комплекс создан на основе модульного оборудования National Instruments, под управлением ПО, созданного в среде LabView (рис.1).

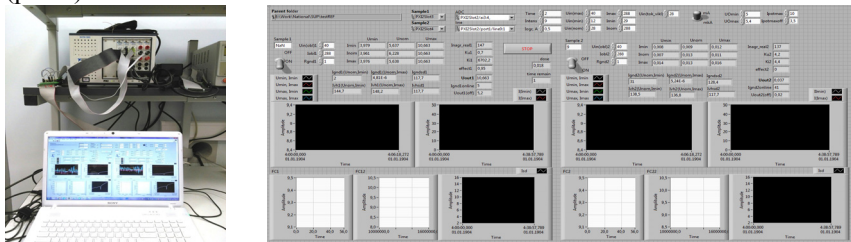


Рис. 1. Автоматизированный измерительный комплекс

В результате анализа номенклатуры модульных приборов были выбраны следующие устройства [6]:

- в качестве источника питания – NI PXI-4110,
- в качестве – NI PXI-6259;
- в качестве амперметра – NI PXI-4071.

Созданный автоматизированный комплекс позволяет измерять параметры-критерии работоспособности, приведенные в табл. 1 [6].

Таблица 1. Измеряемые параметры-критерии СН и DC/DC конвертеров

№ п/п	Наименование параметра, единица измерения	Диапазон	
		от	до
1	Выходное напряжение, В	0,5	30
2	Нестабильность по напряжению, мВ	0,2	1000
3	Нестабильность по току, мВ	0,2	1000
4	Ток потребления, мА	0,01	7500
5	Ток потребления в выключенном состоянии, мА	0,001	200

С помощью созданного автоматизированного измерительного комплекса успешно исследовано радиационное поведение более пятидесяти типов микросхем. Разработанный комплекс позволил существенно повысить качество измерения параметров-критериев работоспособности при практически полной автоматизации.

Список литературы

1. Кессаринский Л.Н., Бойченко Д.В., Никифоров А.Ю. Анализ радиационного поведения импульсных стабилизаторов напряжения. // Микроэлектроника. – М.: Наука. – том 41, №4 – 2012, с.251-258.
2. Leonid Kessarinskiy, Dmitry Boychenko, Alexander Nikiforov. LINEAR AND SWITCHING DC-DC CONVERTERS TID HARDNESS INVESTIGATION. // BOOK OF ABSTRACTS RAD 2014 - MAY 27 – 30, 2014, P. 448.
3. Л.Н. Кессаринский, М.А. Соковишин, А.Я. Борисов. Автоматизированный контрольно-измерительный стенд для испытаний аналоговых и силовых ЭРИ // Инженерные и научные приложения на базе технологий National Instruments – 2012: Сборник трудов XI международной научно-практической конференции, 2012, стр. 26-28.
4. Chumakov A. I., Vasil'ev A. L., Pechenkin A. A., Savchenkov D. V., Tararaksin A. S., Yanenko A. V. Single-event-effect sensitivity characterization of LSI circuits with a laser-based and a pulsed gamma-ray testing facilities used in combination // Russian Microelectronics – М.: Наука. – том 41, №4 – 2012, с.221-225.
5. Alexander Nikiforov, Dmitry Boychenko, Vitaly Telets. COMPLEX APPROACH TO MICROELECTRONICS RADIATION HARDNESS INVESTIGATION. // BOOK OF ABSTRACTS RAD 2014 - MAY 27 – 30, 2014, P. 300.
6. М.П. Белова, Д.В. Печенкина, А.Я. Борисов, Л.Н. Кессаринский, Д.В. Бойченко. Автоматизированный испытательный комплекс для контроля параметров стабилизаторов напряжения и DC/DC-конвертеров // Сборник трудов XIII международной научно-практической конференции, Москва 19-20 ноября 2014г. – М.: LVR Пресс, 2014. - С. 85-87.

К.А. КАГИРИНА, В.А. МАРФИН

Научный руководитель – П.В. НЕКРАСОВ, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

РАСШИРЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ СЛОЖНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СБИС ПРИБОРОМ РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО ВВОДА/ВЫВОДА

Рассматривается пример расширения аппаратно-программного комплекса (АПК) на платформе NI FlexRIO многоканальным прибором реконфигурируемого ввода/вывода для проведения исследования радиационной стойкости сложно-функциональных СБИС. Разработанной в данной работе адаптер позволил увеличить скорость обмена данными и повысить разрядность шины данных.

АПК, используемый для исследования радиационной стойкости СБИС микропроцессоров на кафедре №3 НИЯУ МИФИ, удовлетворяет требованиям задачи исследования радиационной стойкости СБИС микропроцессоров [1, 2]. Однако, так как СБИС этого класса постоянно совершенствуются, возникает необходимость модернизации АПК. Было принято решение дополнить комплекс прибором NI PXIe-7962R. С помощью «Руководства по применению комплекта для разработки адаптеров» [3] была разработана плата адаптера для этого прибора.

В настоящий момент в АПК используется модульный прибор компании National Instruments (NI) NI PXI-7841R – модуль реконфигурируемого ввода/вывода. NI PXI-7841R позволяет получить до 96 линий ввода/вывода; ф. NI гарантирует частоту переключения логического сигнала до 40 МГц [4].

Так как линии ввода/вывода FPGA прибора NI PXIe-7962R выводятся на краевой разъем без дополнительной защиты, в принципиальную схему адаптера были добавлены проходные резисторы для ограничения выходного тока каждой цифровой линии. Для сглаживания выбросов при переключении сигналов, а также для защиты выводов ПЛИС FPGA от разрядов статического электричества в схеме используются диодные сборки (диодные выпрямители). Диодные сборки также препятствуют прохождению на входы FPGA заведомо неверных напряжений. В целях согласования платы с исследуемыми объектами были использованы буферы, которые позволяют плавно менять напряжение логических уровней выходных

сигналов ПЛИС FPGA (от -0,5 до +5,5В). Передача данных с адаптера на пользовательскую оснастку осуществляется с помощью кабелей DVI-I.

С использованием разработанной платы адаптера существует возможность вывести на испытательную оснастку до 132 цифровых линий ввода/вывода с частотой до 400 МГц. Плата поддерживает различные стандарты ввода/вывода, в том числе дифференциальный режим со скоростью передачи данных до 1 Гбит/с. Линии ввода/вывода разделены на банки, таким образом, обеспечивается возможность использования двух различных стандартов ввода/вывода на одной плате. Внешний вид платы адаптера NI PXIe-7962R представлен на рис. 1.

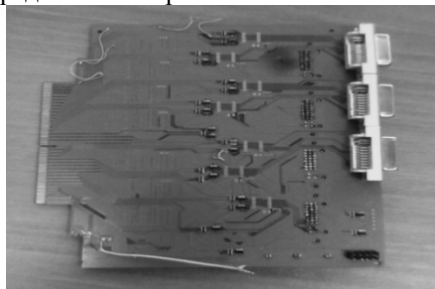


Рис. 1. Внешний вид платы адаптера NI PXIe-7962R

АПК, расширенный модулем NI PXIe-7962R, продемонстрировал увеличение частот пропускаемого сигнала и количества линий ввода/вывода до 228. В дальнейшем планируется разработка платы испытательной оснастки и драйверов для адаптера. Таким образом, уже на данном этапе модернизация АПК дала значимые результаты.

Список литературы

1. Марфин В.А., Некрасов П.В. Использование модуля быстрого ввода/вывода NI PXI-7841R для проведения функционального контроля работоспособности СБИС микропроцессоров // Инженерные и научные приложения на базе технологий NI NIDays – 2014: Сборник трудов XIII международной научно-практической конференции, Москва 19-20 ноября 2014 г. – М.: ДМК Пресс, 2014. – с. 66-67.
2. Марфин В.А., Некрасов П.В. Исследование радиационной стойкости микропроцессоров IDT79RC64474 при стационарном воздействии низкой интенсивности // Электроника, микро- и нанoeлектроника. Сб. науч. трудов / Под редакцией В.Я. Стенина. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. С.251-255.
3. National Instruments. NI FlexRIO FPGA Modules <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/205128>
4. National Instruments. Руководство по применению комплекта для разработки адаптеров <http://nitech.n-sk.ru/Library/Manuals/Hardware/FlexRIOMDK.pdf>

А.Д. БАКУН

Научный руководитель – Ю.А. ВОРОНОВ, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОТРАБОТКА ПРОЦЕССА РЕАКТИВНОГО ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЭМС

Исследован процесс реактивного ионного травления кремния на установке РИТУ-ВП-1, подобран режим травления в двух газовых смесях, рассчитаны технологические параметры оборудования и диапазон возможных значений скоростей травления.

При изготовлении микроэлектромеханических систем, например, мембран, требуется проводить высокоскоростное глубокое травление подложки. Существуют известные процессы глубинного травления кремния [1], однако получаемые скорости сильно зависят от параметров конкретной установки, например, геометрии реактора. Также в отдельных случаях необходимо реализовывать точное дотравливание функционального слоя, что предполагает низкие скорости. Подбор возможных режимов травления кремния на исследовательской установке кафедры «Микро- и нанoeлектроники» рассмотрен в данной работе.

Работа проводилась на установке с реактором диодного типа (рис. 1). 1 – система подачи рабочих газов «газовый душ»; 2 – ВЧ генератор (13,56 МГц); 3 – охлаждаемый электрод – подложкодержатель; 4 – система откачки.

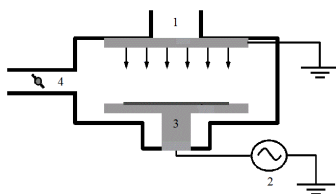


Рис. 1. Схема установки

Травление производилось в элегазе (SF_6) и смеси элегаза с кислородом ($\text{SF}_6 + \text{O}_2$) в различных процентных соотношениях. Мощность ВЧ разряда изменялась в пределах от 50 до 120 Вт. Для определения возможностей установки также изменялся расход рабочих газов, что позволило составить карту возможных режимов травления. На рис. 2 приведены зависи-

мости скорости травления от мощности ВЧ генератора при травлении в элегазе.

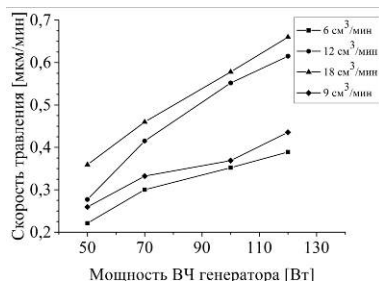


Рис. 2. Скорость травления в элегазе

Зависимость от мощности имеет близкий к линейному характер, также скорость возрастает при росте расхода газа, что подтверждается теоретическими предположениями. На рис. 3 и 4 приведены аналогичные зависимости для добавки 10% и 20% кислорода в элегаз.

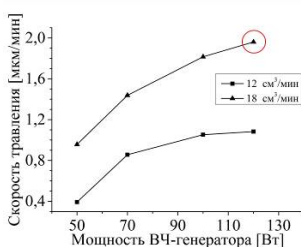


Рис. 3. Добавка 10% O₂

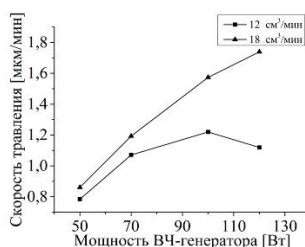


Рис. 4. Добавка 20% O₂

Таким образом, в результате проделанной работы был подобран режим травления глубоких канавок в кремнии с наибольшей скоростью для данной установки ($v_{\text{трав}} = (1,98 \pm 0,1)$ мкм/мин, отмечен на рис. 3 красным цветом), а также несколько промежуточных режимов травления.

Список литературы

1. H. Jansen, M. de Boer, R. Legtenberg, M. Elwenspoek. The black silicon method: a universal method for determining the parameter setting of a fluorine-based reactive ion etcher in deep silicon trench etching with profile control // Journal of Micromechanics and Microengineering. 1995. №5 (2). P. 115.
2. M. Reiche, U. Gösele, M. Wiegand. Modification of Si(100)-Surfaces by SF₆ Plasma Etching – Application to Wafer Direct Bonding. // Cryst. Res. Technol. 2000. №35. P. 807 – 821.

Д.Н. КРИВЦОВ

Научный руководитель – Л.Н. НИКИТИН, к.т.н., доцент
Воронежский государственный технический университет

ПРИБОР КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

На примере домашней метеостанции рассмотрен вопрос об усовершенствовании ее конструкции с целью защиты от влаги и, как следствие, возможностью ее использования в закрытых помещениях любого типа, в том числе и с повышенной влажностью, для измерения и контроля параметров микроклимата.

В статье рассматривается вопрос разработки прибора контроля микроклимата с высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, позволяющего осуществлять измерение температуры, влажности и давления в помещениях с повышенной влажностью и выводить полученные данные на графический жидкокристаллический экран, в диапазоне температур от 0 до + 40 0С. Предельная относительная погрешность измерения температуры и влажности в данном диапазоне не должна превышать $\square 2\%$, а предельная относительная погрешность измерения давления $\square 1,5\%$.

На российском рынке представлены в основном аналоги зачастую и имеющие больший набор дополнительных функций, но и в тоже время более высокую стоимость. Всем же известные гигрометры, психрометры и барометры при гораздо большей трудоемкости получения информации об измеряемых параметрах по сравнению с разрабатываемым изделием имеют более высокую стоимость, к тому же они недостаточно информативны. Еще одним недостатком данной группы устройств является невозможность записи и сохранения данных измеряемых параметров для их последующего анализа. Однако основным преимуществом данного прибора является защита от влаги, благодаря чему его можно использовать не только в быту, например, дома или в офисе, но и в закрытых помещениях любого типа, в том числе и с повышенной влажностью: в теплицах, подвалах, оранжереях. Имеющиеся же на рынке аналоги тех же домашних метеостанций не предназначены для работы в таких условиях, и как следствие, имеют более ограниченную сферу применения.

Прибор фактически объединяет в себе часы, календарь, барометр, термометр и гигрометр. На встроенный графический жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) не просто выводятся текущие значения времени и

измеряемых параметров, но и строятся графики изменения атмосферного давления, температуры и относительной влажности за предшествующие четыре суток [1].

Согласно требованиям технического задания, прибор контроля микроклимата имеет группу условий эксплуатации УХЛ 5, он предназначен для работы в помещениях с повышенной влажностью, например, в неотопливаемых, невентилируемых и других помещениях, в которых возможно длительное наличие воды. Изделие соответственно может также эксплуатироваться в закрытых помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями. Проанализировав значения климатических факторов можно сделать вывод, что конструкцию изделия необходимо выполнить в соответствии с требованиями по защите от дестабилизирующих влияний повышенной влажности при температуре эксплуатации от 0 до плюс 40 °С, давлении от 600 до 850 мм.рт.ст., относительной влажности от 20 до 98 % (при 25 °С) [2].

Конструкция прибора контроля микроклимата состоит из корпуса, выполненного из АБС-пластика, обладающего высокой пластичностью и ударопрочностью, методом литья под давлением. В верхней части корпуса предусмотрены отверстия для доступа воздуха к датчикам.

Электрорадиоэлементы прибора размещаются на печатной плате, изготовленной химическим субтрактивным методом из одностороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1 мм. Для влагозащиты печатной платы применяется лак HumiSeal фирмы CONCOAT. Одним из важных преимуществ данного лака по сравнению с распространенными УР-231, ФЛ-582, ЭП-730 является то, что его сушка осуществляется за очень короткое время, что значительно повышает технологичность изготовления изделия. Также, благодаря специфике данного лака для образования качественного покрытия достаточно нанести всего один слой.

Разрабатываемый прибор отличается от аналогов использованием влагозащитного покрытия, высокой надежностью, долговечностью, возможностью сохранения в памяти измеряемых параметров, а также сравнительно высокой точностью, простотой установки, сохранением работоспособности при отсутствии части датчиков, наличием часов, обычного и лунного календарей.

Список литературы

1. Самойлов С. Домашняя метеостанция / С. Самойлов //Журнал «Радио». 2012. №7.
2. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры /Под ред. Парфенова Е.М. – М.: Радио и связь. 1989. 272 с.

В.В. ВЕРЕИТИН

Научный руководитель – М.Г. ХЛАМОВ, д.т.н., профессор
Воронежский государственный технический университет

АНАЛОГОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

В данной статье рассмотрен один из примеров расчета аналогового измерительного канала матричного фотоприемника, а именно пирозлектрического датчика, показана зависимость величины амплитуды выходного сигнала от температуры.

Основным элементом тепловизора является фотоприемник. Его расчет является важнейшей частью в проектировке и дальнейшем создании полноценного прибора. Для бесконтактного метода предназначенного для определения значения температуры и превращение ее в визуальную картину распределения тепловых полей по поверхности объекта необходимо использовать матричный фотоприемник. В качестве базового используется фотоприемник IRA-E420QW1. Основные параметры для расчета: диапазон длин волн, количество каналов и их вольтовая чувствительность. Переменной величиной является температура и расстояние до объекта исследования. Данные величины принимаются для конкретной разработки устройства диагностики притока тепла в холодильной камере. Приведены графики спектральной чувствительности пикселя фотоприемника, расчетная схема величины потока излучения, поступающего на один пиксель. В расчете показан перевод потока излучения, поступающего на один пиксель матричного фотоприемника в величину выходного напряжения. Конечный результат приводится в виде таблицы зависимости величины амплитудного сигнала от температуры.

Список литературы

1. Суэмацу Я. Основы оптоэлектроники. – М.: Наука, 1988 – 335 стр.
2. Уолт Кестер, Аналого-цифровое преобразование. – М.: Радио и связь, 2007. 1018 с.

А.С. ШУЛЬГА

Научный руководитель – И.А. НОВИКОВА, к.т.н., доцент
Воронежский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА ЧАСТОТОМЕРА

В данной статье рассматривается проблема миниатюризации частотомера, разработана конструкция и технология изготовления частотомера с минимальными размерами.

В современных условиях актуальной является задача создания малогабаритного частотомера, имеющего небольшой вес и пригодного для измерения частоты различных устройств.

Расчет компоновочных показателей частотомера показал, что его конструкция полностью удовлетворяет требованиям микроминиатюризации современной бытовой техники [1].

Среднее время безотказной работы частотомера при максимальной интенсивности отказов составляет 30000 ч, вероятность безотказной работы $P=0,85$, что полностью соответствует требованиям технического задания [2].

Исходя из технологических возможностей производства и учитывая требования, предъявляемые к изделию, выбран комбинированный позитивный метод изготовления двухсторонней ПП. Плотность печатного монтажа соответствует первому классу. Дальнейшая модернизация устройства может идти по пути улучшения схемотехники и расширения функциональных возможностей.

Список литературы

1. Проектирование и технология радиоэлектронных средств: разработка конструкции изделий РЭС: учеб. пособие / И.А. Бейнар, В.А. Муратов, Л.С. Очнева, А.А. Соболев. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006.
2. Варламова Р.Г. справочник конструктора РЭА. Компоненты, механизмы, надёжность, Радио и связь, 2003.

Р.С. ЛИХАЧЁВ

Научный руководитель – А.В. ТУРЕЦКИЙ, к.т.н., доцент
Воронежский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ USB-РЕГИСТРАТОРА СОБЫТИЙ

Рассматриваются вопросы разработки современного регистратора событий, предназначенного для сохранения данных, взятых с внешней микроконтроллерной системы, на USB-флеш накопитель, для дальнейшего их анализа на ЭВМ.

Актуальность разработки USB-регистратора событий обусловлена тем, что современные датчики и логгеры, занявшие свое место почти во всех сферах, где требуется измерение различных параметров или величин, не имеют встроенной памяти и не представляется возможным их подключение к ЭВМ для анализа результатов измерения.

Разработанный USB-регистратор событий выполнен на основе микроконтроллера. Устройство работает на напряжении 5 В, которое так же используется для питания USB-карты памяти. Связь между разрабатываемым изделием и внешней микроконтроллерной системой осуществляется с помощью последовательного UART интерфейса, также возможно использование конвертера RS232/TTL для связи с системой, использующей стандартные уровни напряжения RS232 [1,2]. Транслируемые данные сохраняются на USB-флеш накопитель в текстовый документ «logging.txt». Параметры последовательной передачи данных находятся на USB-карте памяти в текстовом документе «config.txt».

С помощью модификаций и перепрограммирования, USB-регистратор событий может выполнять ряд дополнительных функций: чтение данных с внешней микроконтроллерной системы, чтение аналоговых или цифровых сигналов и сохранение их на карте памяти. Кроме того, может быть реализован дополнительный UART или SPI интерфейс.

Список литературы

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принцип, технологии, протоколы: учебник /В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – 4-е изд., перераб. и доп. – Питер, 2010.
2. Электронный каталог Хабрахабр – <http://habrahabr.ru/post/109395/>.

А.А. АЛЕХИН

Научный руководитель — М.А. РОМАЩЕНКО, к.т.н., доцент
Воронежский государственный технический университет

QRP-ТРАНСИВЕР

Рассматривается вопрос разработки QRP-трансивера, предназначенного для работы на SSB (нижняя боковая полоса) в телефонном участке 80-метрового любительского диапазона.

Изделие представляет собой один радиоэлектронный блок, очень компактного размера, по внешнему виду напоминающий радиоприемник.

При разработке изделия были выбраны методы конструирования, обеспечивающие снижение стоимости, в том числе и энергоемкости; уменьшение объема и массы; расширения области применения микроэлектронной базы; увеличения степени интеграции, микроминиатюризации меж элементных соединений и элементов несущих конструкций; магнитную совместимость; высокую технологичность; однородность структуры; максимальное использование стандартизации.

В результате разрабатываемый QRP-трансивер сочетает в себе такие качества как удобство в работе, так как выполнен в виде отдельного прибора, электрорадиоэлементы расположены на одной моноплате, обеспечен доступ к элементам печатной платы для проверки и регулировки, высокие технические характеристики и низкую стоимость. Изделие удовлетворяет современным требованиям технической эстетики по форме, цветовому решению органов управления.

Список литературы

1. Неметаллические материалы: Учебное Пособие / А. В. Чернышов. Воронеж. гос. техн. университет. Воронеж, 2000. – 80 с.
2. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. А.П. Достанко. М.: Радио и связь. 2001. 623с.
3. Методические указания по курсу «Организация и планирование радиотехнического производства. Управление радиотехническим предприятием» для студентов специальностей 200700 «Радиотехника» и 200800 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» всех форм обучения / Воронеж. гос. техн. унт.; Сост. И. Г. Орлова, Б. Г. Преображенский. Воронеж, 1999. 27 с.

А.А. КОМЛЕВ

Научные руководители – И.И. ШАГУРИН¹, д.т.н., профессор
И.И. НАСОНОВ², ведущий инженер

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²ЗАО «Научно-технический центр «Модуль», Москва

СЛОЖНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ БЛОК УНИВЕРСАЛЬНОГО КОММУНИКАЦИОННОГО ПОРТА ДЛЯ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

В докладе представлено описание параметризуемого блока универсального коммуникационного порта для многопроцессорных систем.

Особенностью коммуникационных портов (КП) для многопроцессорных систем является передача типа «точка-точка», а также высокая скорость обмена данными.

Требовалось разработать СФ-блок на основе байтового КП микросхемы 1879BM5Я [1]. Новый КП обеспечивает взаимодействие процессорных систем, реализованных на одной или нескольких СБИС, а также на ПЛИС.

Разработанный СФ-блок осуществляет прием и передачу 8-разрядных данных и позволяет производить обмен с различными областями памяти процессорных систем. СФ-блок содержит контроллер ПДП для стандартной шины AMBA AXI и блок внешнего интерфейса.

Разработана синтезируемая RTL-модель и проведен логический синтез коммуникационного порта с использованием библиотеки элементов с технологическими нормами 65 нм. Получены оценки для основных параметров СФ-блока: максимальная рабочая частота определяется максимальной частотой буферов и в данном случае составляет 160 МГц, энергопотребление 4.85 мВт, площадь, занимаемая на кристалле 900.44 мкм². Максимальная скорость передачи по КП составляет 1 Гбит/с, а между блоками в составе одной СБИС – свыше 50 Гбит/с.

СФ-блок полностью подготовлен для включения в проекты разрабатываемых многопроцессорных систем, реализуемых в виде «систем на кристалле».

Список литературы

1. Микросхема интегральная 1879BM5Я. Руководство по эксплуатации. //НТЦ «МОДУЛЬ», 2013.

И.С. БУЛЬБАКОВ

Научный руководитель – Э.В. АТКИН, к.т.н., доцент
 Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

СХЕМА ИСТОЧНИКА ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТИПА BANDGAP В КМОП-ТЕХНОЛОГИИ 180-нм

Описываются результаты моделирования схемы источника опорного напряжения, выполненной в КМОП-технологии с проектными нормами 180 нм.

Прецизионный источник опорного напряжения (ИОН) является важнейшей частью аналоговых и аналого-цифровых микросхем, таких как аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, генераторы, операционные усилители, ШИМ-контроллеры и схемы PLL(ФАПЧ).

Среди всевозможных реализаций ИОН все чаще используется так называемый bandgap-ИОН (англ. *band gap* - ширина запрещенной зоны). Его главным преимуществом является крайне малый температурный коэффициент (ТК), а выходное напряжение равно ширине запрещенной зоны полупроводника при абсолютном нуле температур [1]. Для реализации bandgap-ИОН в КМОП-технологии используются вертикальные PNP-транзисторы, сформированные в кармане N-типа и подложке P-типа.

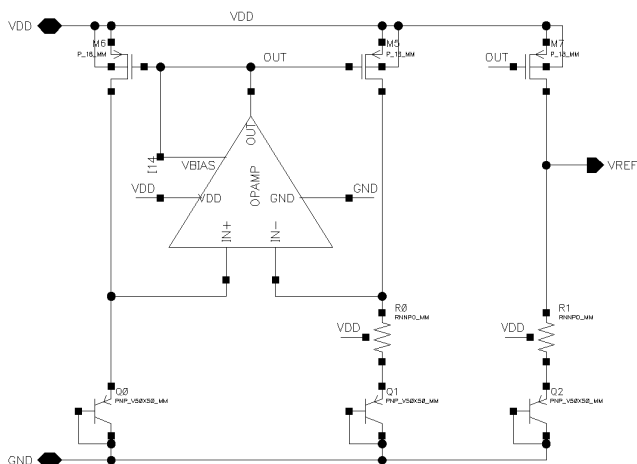


Рис. 1. Схема ИОН

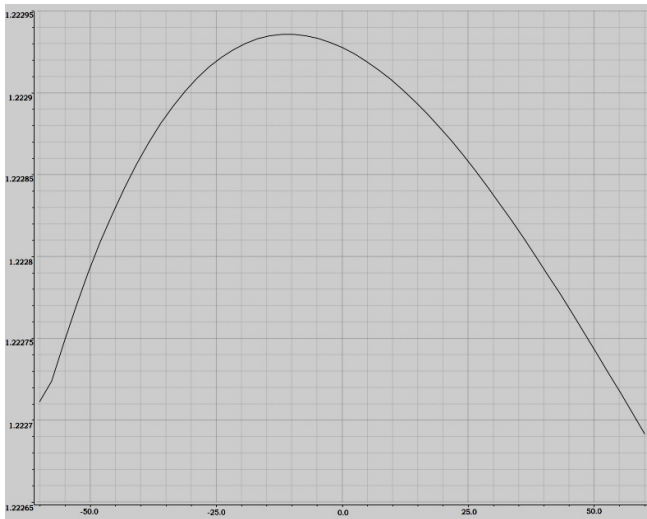


Рис. 2. Зависимость опорного напряжения от температуры в схеме ИОН

Моделирование схемы проводилось в САПР Cadence Virtuoso с использованием технологических библиотек компании UMC (Тайвань) с проектными нормами 180 нм. На рис. 1 представлена схема bandgap-ИОН. Соотношение площадей эмиттеров PNP-транзисторов 1:20:1.

На рис. 2 представлена зависимость опорного напряжения от температуры. Значение температурного коэффициента в диапазоне температур от -60 до +60 °C составляет 3.9 ppm/°C.

Основные параметры схемы представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики полученной схемы

Технология	180 нм
Напряжение питания	1.8 В
Выходное напряжение	1.222 В
Температурный диапазон	-60...+60°C
Температурный коэффициент	3.9 ppm/°C

Список литературы

1. Chi-Wah Kok, Wing-Shan Tam CMOS Voltage References: An Analytical and Practical Perspective // John Wiley & Sons Singapore Pte , 2013.

В.А. ТИНЯЕВ

Научные руководители – И.И. ШАГУРИН¹, д.т.н., профессор

А.В. ЧЕРНИКОВ², старший инженер

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²ЗАО «Научно-технический центр «Модуль», Москва

ВЕКТОРНЫЙ РЕГИСТРОВЫЙ ФАЙЛ ОПЕРАЦИОННОГО УЗЛА СОПРОЦЕССОРА АРИФМЕТИКИ С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ

В докладе представлено описание векторного регистрового файла, являющегося частью операционного узла высокопроизводительного сопроцессора с плавающей арифметикой.

Векторный регистровый файл (ВРФ) – модуль векторного сопроцессора, который состоит из векторных регистров. Векторный регистр представляет собой двухпортовую память, которая подключена к шинам векторных данных. Векторный регистр служит для хранения одного вектора 64-разрядных слов упакованных данных, которые могут передаваться на исполнительные узлы [1]. ВРФ состоит из 8 векторных регистров, каждый из которых может хранить 32 64-разрядных слова. ВРФ выполняет операции над пакетами данных: осуществляет подачу данных на арифметический узел с плавающей точкой, считывание данных с арифметического узла, обеспечивает возможность пересылки данных между операционными узлами сопроцессора, обмен данными с внешней памятью. ВРФ имеет 3 порта записи и 5 портов чтения. Порты ВРФ, которые осуществляют подачу данных на арифметический узел, поддерживают возможность скалярного чтения. Это позволяет при выполнении векторной арифметической операции использовать скалярную величину в качестве одного из операндов.

Разработана синтезируемая RTL-модель ВРФ и проведен его логического синтез с использованием библиотеки элементов GF-65G с технологическими нормами 65 нм [2]. Получены оценки для основных параметров ВРФ: максимальная рабочая частота - 500 МГц; энергопотребление – 34,7 мВт; площадь, занимаемая на кристалле – 0,28 мм².

Список литературы

1. Hennessy J.L., Patterson D.A. Protocols, Computer Architecture A Quantitative Approach // Elsevier, 2012.
2. Using Encounter RTL Compiler // Cadence Design Systems, 2012.

А.А. БОГДАНОВА, Г.Ю. ЖИХАРЕВ

Научный руководитель – И.И. ШАГУРИН, д.т.н., профессор
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

МЕТОДИКА ВЕРИФИКАЦИИ КРИПТОБЛОКОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ АЛГОРИТМЫ ХЕШИРОВАНИЯ

Криптографические алгоритмы хеширования имеют схожую структуру, в основе которой лежит итеративная последовательная схема, что позволяет создать унифицированное тестовое окружение для аппаратных блоков, реализующих данные алгоритмы. В работе описывается подход к созданию модулей проверок в составе единого тестового окружения для динамической верификации криптоблоков, реализующих алгоритмы хеширования. Предложенный метод упрощает разработку модулей проверок для определённого класса криптоблоков, а также делает возможным их повторное использование.

Для обеспечения достоверности и конфиденциальности информации, передаваемой и обрабатываемой в современных электронных системах, используются различные криптоалгоритмы. Одним из распространённых классов криптоалгоритмов являются алгоритмы хеширования, используемые для защиты паролей, проверки достоверности сообщений, реализации цифровой подписи. В настоящее время в состав ряда зарубежных и отечественных СБИС класса СнК включаются специализированные криптоблоки, обеспечивающие выполнение соответствующих алгоритмов. В связи с этим становятся актуальными проблемы тестирования и верификации разрабатываемых модулей. Благодаря схожей структуре алгоритмов хеширования[1] можно создать унифицированное тестовое окружение для динамической верификации криптоблоков, содержащих СФ-блоки, реализующие функционально изолированные этапы[2]: расширение входных сообщений; итерационная обработка данных сообщений; выдача полученных хеш-сумм.

В случае, если тестируемый криптоблок позволяет функциональное разбиение своей структуры, то, кроме сравнения полученной хеш-суммы с эталонным значением, предлагается наличие детализированных проверок на типовых промежуточных этапах с выводом информации, актуальной на этапе разработки. Данный подход позволяет локализовать ошибки, что в итоге приводит к уменьшению времени, затрачиваемого на верификацию устройства. Проверка корректности данных на каждом из этапов алгоритмов осуществляется посредством вызова модифицирован-

ных функций, реализованных на языках C/C++ и представленных в стандартах для соответствующих алгоритмов хеширования. Для промежуточных проверок программные реализации дополнены фиксированием результатов на каждом раунде или итерации алгоритма. При необходимости есть возможность проверять не только промежуточные значения переменных хеш-суммы, но и значения используемых констант или слов данных.

Таким образом, после первого этапа происходит проверка полученного расширенного сообщения, на втором этапе - проверка промежуточных значений хеш-суммы для каждой итерации и на последнем этапе - проверка соответствия конечного значения хеш-суммы эталону. За корректностью работы протокола передачи данных между каждым из этапов следит тестовое окружение; логика проверок протокола может быть с лёгкостью изменена, при этом остальные части тестового окружения не затрагиваются.

Предлагаемая методика апробирована в НИЯУ МИФИ на кафедре «Микро- и Наноэлектроника» в рамках проекта «Разработка СФ-блоков для реализации криптоалгоритмов в СБИС класса СнК». В ходе работы разработано тестовое окружения на языке SystemVerilog с использованием методологии UVM (Universal Verification Methodology) [3] для верификации криптоблока, реализующего конвейерные вычисления хеш-сумм по алгоритмам MD4, MD5, SHA-1, SHA-256. Взаимодействие тестового окружения с дополненными функциями программной реализации алгоритмов происходило посредством интерфейса DPI SystemVerilog в разработанных компонентах, отслеживающих состояния сигналов каждого из СФ-блоков устройства. Унифицированная структура тестового окружения позволяет его повторное использование с минимальными затратами на изменения для криптоблоков, реализующих другие алгоритмы хеширования или использующие другие протоколы передачи данных.

Список литературы

1. Stallings W. Cryptography and network security, изд. № 5, Prentice Hall, 2011. – С. 340-342.
2. Damgard I. A design principle for hash functions / I. Damgard; ред. G. Goos, ред. J. Hartmanis // Advances in Cryptology - CRYPTO'89. – 1990. - № 435. – С. 416-427.
3. Universal verification methodology (UVM) 1.1 User guide // Accellera, 2011.

Д.А. ДОМОЖАКОВ

Научный руководитель – С.В. КОНДРАТЕНКО, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОШИБОК В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

Предложена методика расчета вероятности возникновения ошибок в тракте приемник – передатчик на этапе проектирования с использованием элементов теории вероятности и математической статистики на основе результатов моделирования переходных процессов.

Неотъемлемой составляющей распределенной в пространстве цифровой системы являются приемопередающие устройства, обеспечивающие стабильный и оперативный обмен информацией между блоками по внешней линии связи. К современным устройствам приема и передачи данных предъявляются повышенные требования по допустимому числу ошибок. При актуальных в настоящее время скоростях передачи (несколько Гбит/с) усиливается влияние фазовых искажений сигналов на выходе передатчика. С уменьшением проектных норм снижается напряжение питания, вследствие чего сужается размах выходного сигнала передатчика и растет влияние помех.

Глазковая диаграмма (рис. 1) является наглядным инструментом анализа на физическом уровне качества работы высокоскоростных блоков передачи цифровых данных, так как позволяет визуально оценить искажение формы сигнала, отношение сигнал/шум и временной джиттер [1].

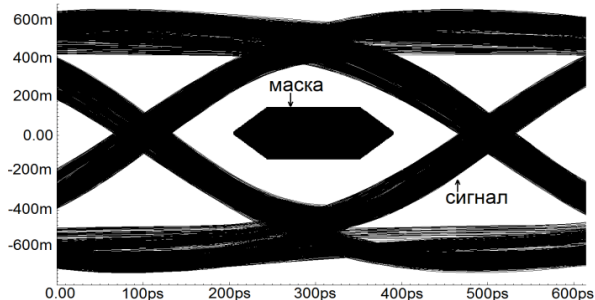


Рис.1. Глазковая диаграмма сигнала на входе приемника

Важным критерием оценки работы приемопередающего тракта является параметр BER (Bit Error Rate) – число ошибок, деленное на общее число переданных бит за тестовый интервал. В настоящее время производители измерительных приборов предлагают решения, позволяющие измерить BER пары передатчик – приемник. Однако актуальной задачей является получение BER на этапе проектирования. Сравнение сигнала с маской на глазковой диаграмме не позволяет непосредственно определить значение BER.

Объектом исследований служит SPICE-модель пары приемник-передатчик с учетом паразитных параметров. На первом этапе происходит регистрация кривых, описывающих формы передаваемых сигналов для различных последовательностей бит, к примеру, восемь вариантов для трех бит подряд с учетом предыстории длиной в два бита. Для сигналов в линии передачи определяется дискретная функция плотности вероятности с математическим ожиданием, равным уровню сигнала без шума относительно нуля и среднеквадратичным отклонением, характеризующим шум в линии передачи [2]. На втором этапе производится расчет вероятности ложного переключения путем последовательного интегрирования каждого участка передаваемого бита для всех комбинаций с учетом предыстории. В результате рассчитывается общая вероятность ложного переключения при передаче как сумма вероятностей возникновения ошибки при передаче любой комбинации бит, деленная на число комбинаций. На данном этапе сигнал представляется псевдослучайным, поэтому вероятности в каждом случае имеют равные весовые коэффициенты.

Применение описанной методики позволяет произвести расчет вероятности появления ошибки при передаче BER с помощью результатов SPICE-моделирования, что приводит к экономии времени при разработке. Изложенная концепция заложена в основу написанной программы, используемой для оценки BER проектируемых приемопередатчиков.

Список литературы

1. Hancock J./ JITTER - UNDERSTANDINGIT, MEASURINGIT, ELIMINATINGIT//Summit Techniel Media, LLC, 2004.
2. Buchs K., Zabinski P., Coker J./BASIC BIT ERROR RATE ANALYSIS FOR SERIAL DATA LINKS //Special Purpose Processor Development Group Mayo Clinic, 2004

А.В. ГЕРАСИМЧУК, К.А. ЕСЕНЬКОВ, М.С. КОБЗАРЬ,
Г.Ю. ЖИХАРЕВ

Научный руководитель – И.И. ШАГУРИН, д.т.н., профессор
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ДЛЯ РАСЧЁТА ХЕШ-СУММ В КРИПТОБЛОКАХ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В СОСТАВЕ «СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ»

В докладе описывается предлагаемая структура вычислительного канала для использования в криптоблоках, выполняющих высокопроизводительные конвейерные вычисления хеш-функций в соответствии с алгоритмами MD4, MD5, SHA-1 и SHA-256.

При разработке криптоблоков, реализующих алгоритмы хеширования, обычно используются либо итеративная архитектура, либо архитектура развёртки цикла для организации вычислений [1, 2]. При этом представленные криптоблоки, как правило, реализуют только один криптографический алгоритм. В данной работе предлагается специализированная конвейерная архитектура, поддерживающая обработку сообщений в нескольких режимах (согласно алгоритмам MD4, MD5, SHA-1, SHA-256).

Вычислительный канал состоит из блока расширения входных сообщений, системного коммутатора и вычислительных конвейеров. Со входного интерфейса сообщения поступают на блок расширения в виде 32-битных слов. Блок расширения формирует из поступивших данных 512-битные блоки и направляет их в системный коммутатор. Блок расширения может выдавать данные как по одному слову расширенного сообщения за такт, так и одновременно несколько слов данных сообщения. Если длина сообщения больше или равна 448 бит, то происходит формирование нескольких блоков расширенного сообщения.

В алгоритмах MD5 и SHA-256 вычисления производятся за 4 раунда, в каждом из которых 16 итераций; в MD4 - 3 раунда по 16 итераций; в SHA-1 4 раунда по 20 итераций, но для реализации вместе с другими алгоритмами в работе он представляется как 5 псевдо-раундов по 16 итераций. В связи с этим вычислительные конвейеры состоят из 16 стадий. Все стадии независимы и на каждой в данный момент времени может происходить обработка одного из принятых сообщений.

Для наихудшего случая, когда новые сообщения приходят с максимальным темпом, вычислительный канал, включающий 4 конвейера, гарантирует обработку данных без блокировки внешнего интерфейса для

алгоритмов MD4, MD5 и SHA-256. Для исключения блокировок при работе в режиме SHA-1, данные от системного коммутатора на вычислительные конвейеры поступает через буферы типа FIFO на 16 позиций, которые хранят данные во время обработки 5 раунда.

В предлагаемой архитектуре на стадиях происходит сложение до пяти операндов за такт. Это даёт большую задержку в вычислениях. Чтобы уменьшить её используются сумматоры с сохранением переносом (CSA) [3]. В данной работе CSA представлен как последовательное соединение компрессора и полного сумматора и используются (5:2)-компрессор и (4:2)-компрессор, состоящие из нескольких (3:2)-компрессоров соединённых последовательно. Компрессор (3:2) представляет собой логическую схему, которая преобразовывает три слагаемых в два. Важную роль имеет подключение слагаемых: слагаемые, которые известны заранее, надо подавать на первый компрессор, а те, что вычисляются на том же такте, на котором производится сложение, подаются на остальные. При подаче слагаемого, требующего вычисления на последний компрессор, происходит параллельное вычисление этого слагаемого и суммы остальных на предыдущих компрессорах, что приводит к уменьшению критического пути.

В связи со спецификой приёма данных с входного интерфейса нет возможности загружать конвейеры новыми сообщениями каждый такт. Это приводит к ограничению на максимальный темп выдачи результата: каждые два такта. В свою очередь, ограничение на темп поступления входных данных позволяет разделить каждую стадию на две ступени, т.е. данные на каждой стадии будут обрабатываться за два такта, что приводит к увеличению тактовой частоты. Для алгоритма SHA-256 используется подход, когда часть значений необходимых на текущей стадии, рассчитываются на предыдущей стадии. Например, на нулевой стадии рассчитывается первая часть вычислений, на первой стадии рассчитывается вторая часть и параллельно первая часть для новых данных и т.д.

Использование предлагаемой архитектуры позволяет при полной загрузженности конвейера и при тактовой частоте 200 МГц (Virtex-7) получать 10^8 хеш-сумм в секунду.

Список литературы

1. Ducloyer S. Hardware implementation of a multi-mode hash architecture for MD5, SHA-1 and SHA-2 / S. Ducloyer, R. Vaslin, G. Gogniat, E. Wanderley/ LESTER CNRS FRE 2734. Lorient, France, 2007.
2. Lien R. A 1 Gbit/s partially unrolled architecture of hash functions SHA-1 and SHA-512 / R. Lien, T. Grembowski, K. Gaj // CT-RSA. – 2004. – С. 324-338.
3. Prof. Loh. Carry-Save Addition // CS322- Processor Design. – 2005.

И.В. ПАНЧЕНКО

Научный руководитель – Е.И. НОВИКОВА, к.т.н., доцент
Воронежский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ ОСТРОГО ПАНКРЕАТИТА

В статье рассматривается разработка методов интеллектуальной поддержки процесса диагностики острого панкреатита.

Одной из ведущих ролей для повышения эффективности диагностики заболеваний принадлежит использованию компьютерных средств. Актуальность темы заключается в необходимости разработки методов интеллектуальной поддержки процесса диагностики острого панкреатита.

Целью работы является разработка алгоритма, обеспечивающего повышение эффективности процесса дифференциальной диагностики острого панкреатита. Для достижения поставленной цели была реализована подсистема для диагностики острого панкреатита тяжелой и не тяжелой формы на основе имитационной и нейросетевых моделей.

Для создания информационно-программного обеспечения для диагностики острого панкреатита была использована среда программирования IDE Borland Delphi 7.

В разработанном информационно-программном обеспечении постановка диагноза осуществляется на основе клинических признаков, результатов лабораторных и ультразвукового исследования.

Разработанная программа диагностики острого панкреатита удобна в использовании, позволяет добиться повышения эффективности процесса диагностики заболевания острый панкреатит. А также, продукт наделен эргономичным интерфейсом, высокой скоростью обработки введенных данных, современной структурой хранения информации, развернутым разделом справочной системы.

Список литературы

1. Диагностика и лечение острого панкреатита. Учебно-методическое пособие Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2008.
2. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. - М: Синтез, 2002. - 376с.

С.М. ВИНОГРАДОВ

Научный руководитель – С.В. КОНДРАТЕНКО, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫХОДНОЙ ЧАСТОТЫ CMOS КОЛЬЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА

Описан способ увеличения выходной частоты кольцевого генератора, благодаря преобразованию логическими элементами выходных сигналов промежуточных каскадов генератора.

Рассмотрим генератор, поддерживающий на выходе стабильный сигнал, с частотой намного меньшей предельной частоты CMOS технологии, на которой он выполнен. Для повышения частоты на выходе такого генератора для тестовых или иных задач может быть использовано следующее решение.

В основе схемы лежит кольцевой генератор со ступенчатой регулировкой частот, один из каскадов которого показан на Рис 1. В каждом таком каскаде при помощи логического элемента “исключающее или” формируются импульсы длительностью, определяемой разностью фаз сигналов поступающих на вход не соседних инверторов. Совокупность этих импульсных сигналов, со всех каскадов кольцевого генератора и образуют высокочастотный выход схемы.

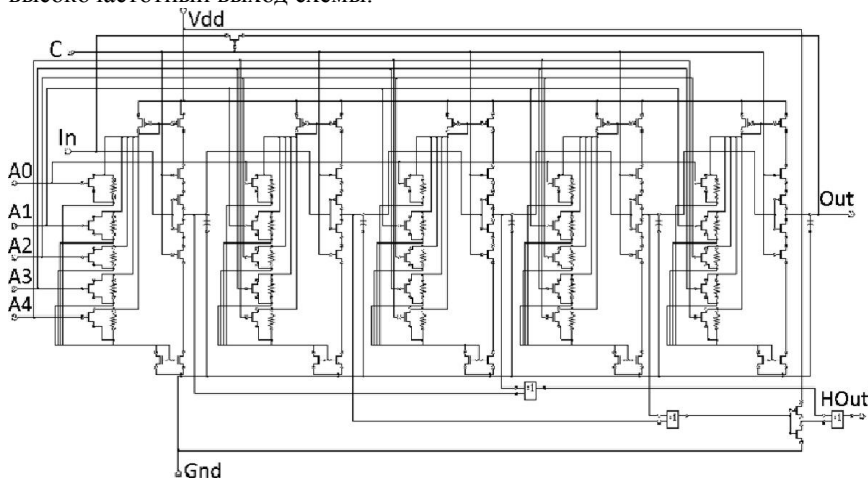


Рис. 1. Схема каскада кольцевого генератора

Результаты электрического SPICE моделирования, проведённого в САПР CADENCE на технологических библиотеках компании UMC для КМОП технологии 180 нм для кольцевого генератора с выходной частотой порядка 2 МГц из 5-ти последовательно включенных каскадов показаны на Рис 2.

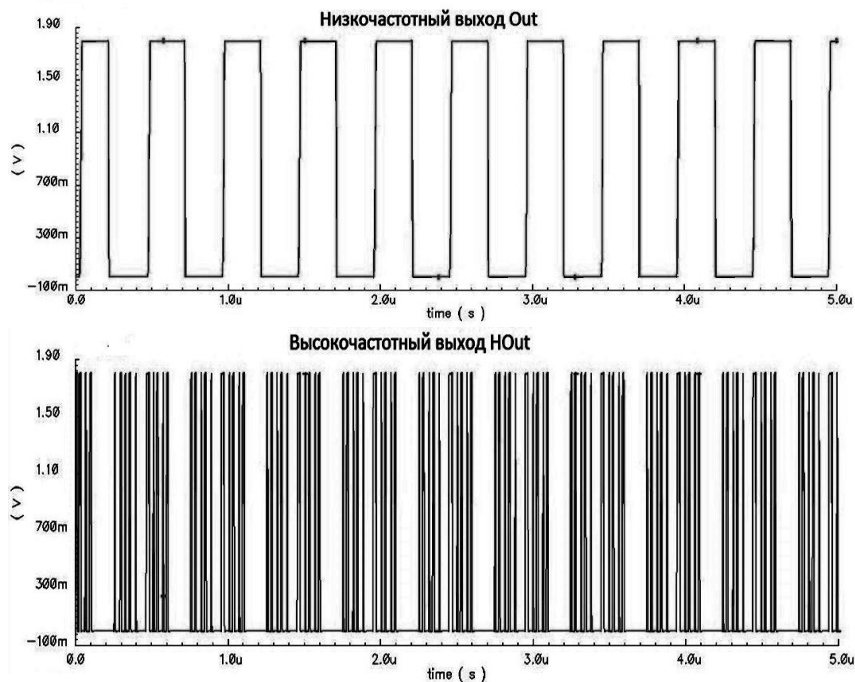


Рис. 2. Результаты моделирования

Таким образом, в статье описан способ увеличения выходной частоты кольцевого генератора, благодаря преобразованию логическими элементами выходных сигналов промежуточных каскадов генератора.

Список литературы

1. Быстрицкий С. А., Клюкин В. И., Быстрицкий А. В. патент “Кольцевой КМОП генератор, управляемый напряжением” (RU 2455755)
2. Кармазинский А.Н. Анализ и синтез цифровых устройств (учебное пособие). - М.: МИФИ

С.М. ВИНОГРАДОВ

Научный руководитель – С.В. КОНДРАТЕНКО, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**ФОРМИРОВАНИЕ ТЕСТОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ
ИЗ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ
КАСКАДОВ CMOS КОЛЬЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА**

Описан способ формирования тестовой последовательности для проверки цифровых IP блоков на кристалле, из выходных сигналов промежуточных каскадов генератора, на логических инверторах охваченных обратной связью.

Часто перед дизайнерами цифровых интегральных схем на кристалле стоит не только задача разработки эффективной схемы, но и её тестирования. Для проверки системы обычно используют различные тестовые последовательности сигналов, подаваемых на вход схемы. Код на выходе схемы, сравнивают с эталонным и, таким образом узнают о состоянии системы.

Тестовые последовательности могут быть заданы как внешним генератором, так и внутренним. В случае с внешним генератором, последовательность довольно жестко ограничена по частоте, мощности и разрядности (ограниченное число внешних выводов). При использовании внутреннего генератора, разработчику следует учитывать дополнительные траты полезной площади на размещение тестовых блоков. Для решения этих проблем, предложено следующее решение (рис. 1).

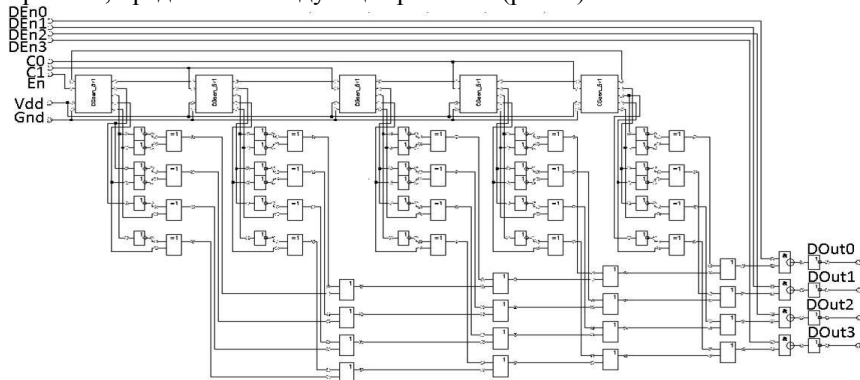


Рис. 1. Схема кольцевого генератора

В основе решения лежит типовая схема кольцевого генератора с заданной частотой. Генератор может быть использован как источник тактового сигнала для синхронной схемы. В схеме, за генерацию тестовых последовательностей, отвечает комбинация простых логических элементов: Исключающее ИЛИ, Инвертор и И-НЕ, подключенных к выходным сигналам промежуточных каскадов кольцевого генератора.

Результаты электрического SPICE моделирования, проведенного в САПР CADENCE с использованием технологических библиотек КМОП технологии с проектными нормами 180 нм компании UMC, кольцевого генератора с выходной частотой порядка 2 МГц показаны на рис.2.

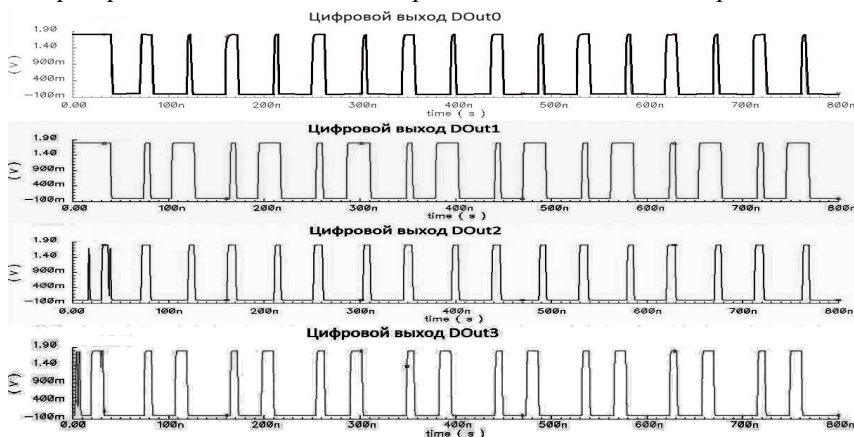


Рис. 2. Результаты моделирования кольцевого генератора

В результате моделирования были получены тестовые последовательности, при помощи сочетаний логических элементов и сигналов с разной фазой.

Таким образом, в статье описан способ формирования тестовой последовательности для проверки цифровых IP блоков на кристалле, из выходных сигналов промежуточных каскадов генератора, на логических инверторах охваченных обратной связью.

Список литературы

1. Быстрицкий С. А., Клюкин В. И., Быстрицкий А. В. патент “Кольцевой КМОП генератор, управляемый напряжением” (RU 2455755)
2. Кармазинский А.Н. Анализ и синтез цифровых устройств. - М.: МИФИ, 1989. - 68 с. (учебное пособие)

К.А. МИТРОФАНОВ

Научный руководитель – Ю.С. БАЛАШОВ, д.ф.-м.н., профессор
Воронежский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ БЛОКА ЧАСОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Рассматривается задача функционального проектирования интегральных микросхем, на примере блока часов реального времени для микроконтроллера. Предложена регистровая модель часов реального времени, с описанием на языке программирования. Проведено моделирование на основе программного кода в виде временных диаграмм, отражающих работу всей регистровой модели.

В процессе анализа отечественной отрасли микроэлектроники был сделан вывод об актуальности поиска и отработки методик проектирования интегральных микросхем. В качестве примера был выбран блок счетчика реального времени для микроконтроллера, который обеспечивает набор свойств цифровых часов. Он используется для реализации либо часов реального времени, либо счётчика жизненного цикла, отсчитывающего время от момента последнего сброса системы [1].

Функциональная модель блока была представлена на нескольких уровнях абстракции. Первый уровень включал в себя регистровую модель без учета внутренних связей. Второй уровень был представлен в виде описания аппаратуры на языке программирования Verilog [2]. Для верификации модели было создано тестовое окружение – модуль верхнего уровня, в котором на испытываемое устройство подавались входные воздействия.

Результатом функционального проектирования блока часов реального времени стали временные диаграммы, отражающие работу всех регистров, а также RTL-описание на языке программирования Verilog, которое необходимо для синтеза логической и электрической схемы и в дальнейшем для топологического проектирования.

Список литературы

1. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL: руководство пользователя / А.В. Евстифеев; 5-е изд., стер. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 560 с.
2. Поляков А.К. Языки VHDL и Verilog в проектировании цифровой аппаратуры / А.К. Поляков. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 320 с.

И.Г. САГДИЕВ

Научный руководитель – Э.В. АТКИН, к.т.н., доцент
 Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ЛОГИЧЕСКОГО СИГНАЛА СБРОСА

Рассматриваются основные этапы проектирования схемы и топологии формирователя логического сигнала сброса на триггере Шмитта на КМОП технологии в САПР Cadence Virtuoso.

В качестве формирователя сигнала сброса был взят триггер Шмитта. На вход триггера подается линейно нарастающее напряжение. При превышении входным сигналом установленного верхнего порога (по умолчанию 2В), триггер выдает положительный перепад напряжения, а при падении входного напряжения ниже установленного нижнего порога (по умолчанию 0,7В), триггер формирует отрицательный перепад. Таким образом, формируется логический сигнал сброса. Схема формирователя представлена на рисунке 1.

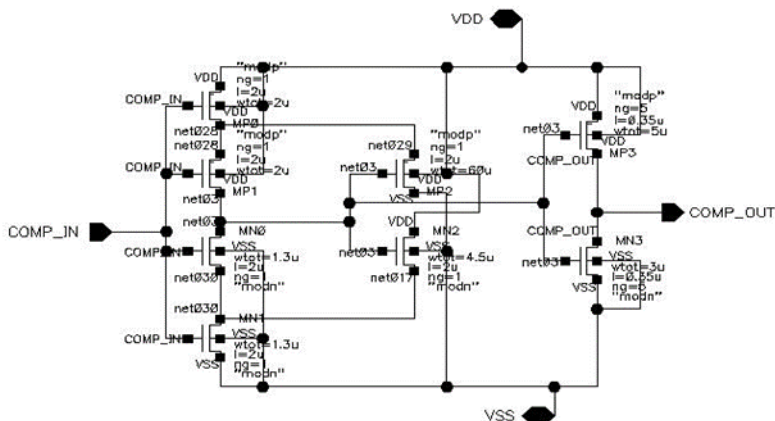


Рис. 1. Схема формирователя

Формирователь был спроектирован на базе технологических библиотек КМОП с проектными нормами 0.35 мкм компании Ams (Австрия) и моделировался в САПР Cadence Virtuoso. Напряжение питания схемы 3,3 В. Триггер сохраняет работоспособность при отклонении напряжения питания от номинального значения не более чем на 9 %. Потребляемая мощность триггера 0,93 мВт. Рабочий диапазон температур от -40°C до 30°C. Временной отклик выходного сигнала изображен на рис. 2.

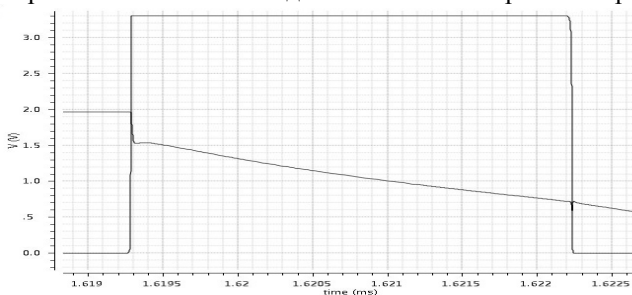


Рис. 2. Временной отклик выходного сигнала

В Virtuoso XL была спроектирована топология триггера Шмитта. Топология представлена на рис. 3. Триггер Шмитта занимает 3465 мкм² на кристалле.

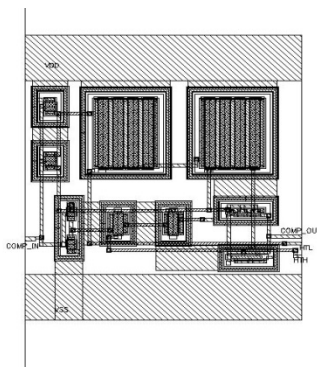


Рис. 3. Топология формирователя

Список литературы

1. Основы работы с пакетами САПР интегральных микросхем на платформе CADENCE VIRTUOSO: сборник лабораторных работ / Э. В. Аткин НИЯУ МИФИ, 2011.
2. The Art of Analog Layout, Prentice Hall, 2001, Ray Alan Hastings, 539 с.

И.Г. САГДИЕВ

Научный руководитель – Э.В. АТКИН, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ТРИГГЕР ШМИТТА С УПРАВЛЯЕМЫМИ ПОРОГОВЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

Рассмотрена оптимизация схемы триггера Шмитта внешними управляемыми потенциалами с целью регулировки верхнего и нижнего порогов петли гистерезиса и повышения диапазона рабочих температур.

Основными недостатками стандартной схемы триггера Шмитта [1] были широкий разброс верхнего и нижнего порогов петли гистерезиса при моделировании в диапазоне температур от -50°C до $+30^{\circ}\text{C}$. Также, при анализе Монте-Карло был обнаружен разброс порогов вследствие погрешности при изготовлении микросхемы. В настоящей работе рассмотрен метод добавления внешних управляющих потенциалов на контактные площадки кристалла. Данные потенциалы позволяют регулировать верхний и нижний пороги петли гистерезиса в диапазоне напряжений, покрывающем разброс напряжений, возникший в результате описанных выше проблем. Схема триггера Шмитта представлена на рис.1.

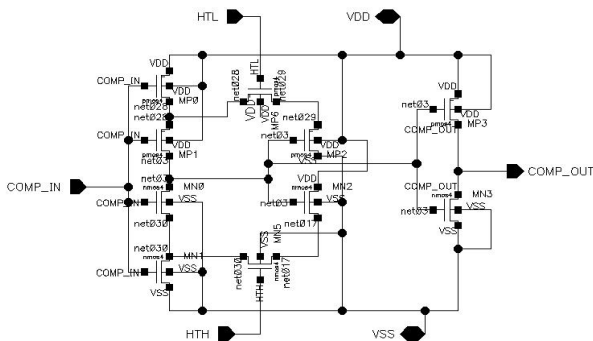


Рис.1. Триггер Шмитта

Подача напряжения в диапазоне от 1,9В до 3В на контакт HTN регулирует верхний порог петли гистерезиса в диапазоне от 1,7В до 2,2В. Поддача напряжения в диапазоне от 0,5В до 0,75В на контакт HTL регулирует

нижний порог петли гистерезиса в диапазоне от 488мВ до 637мВ. Данное решение позволяет регулировать верхний и нижний пороги петли гистерезиса по отдельности, тем самым подстраивая их до нужных значений. Результат подачи на контакт НТН различных напряжений из указанного диапазона (параметрический анализ) изображен на рис.2.

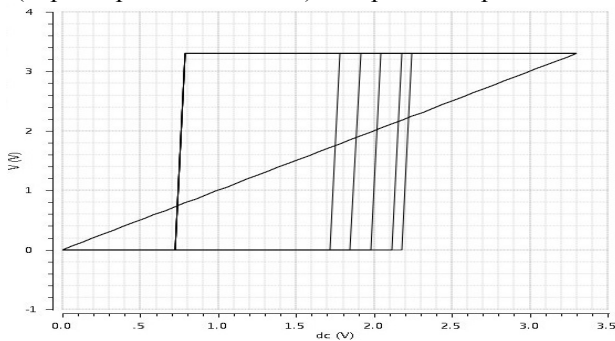


Рис.2. Параметрический анализ

Топология триггера Шмитта представлена на рис.3.

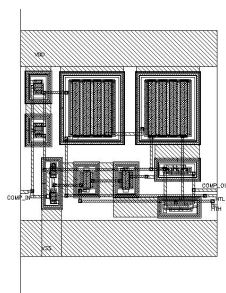


Рис.3. Топология Триггера.

Список литературы

1. <http://bodysmartinc.com/photoud/cmos-schmitt-trigger-oscillator-circuit>
2. Основы работы с пакетами САПР интегральных микросхем на платформе CADENCE VIRTUOSO: сборник лабораторных работ / Э. В. Аткин - Москва : НИЯУ МИФИ, 2011.
3. The Art of Analog Layout, Prentice Hall, 2001, Ray Alan Hastings, 539 с.

А.В. ГУСЕВ

Научный руководитель – Э.В. АТКИН, к.т.н., доцент
 Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

МОДИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ТИПА SALLEN-KEY

Описывается модификация фильтра типа Sallen-Key. Плюсом этого фильтра является меньшая склонность к генерации, в отличие от инвертирующих активных фильтров. Выявлено новое качество, с помощью которого фильтр типа Sallen-Key можно выполнить инвертирующим, используя дополнительный усилитель между входами фильтра.

Приведена принципиальная электрическая схема, проведено моделирование в среде Cadence Virtuoso, рассмотрена передаточная функция фильтра и отмечены ее частные случаи.

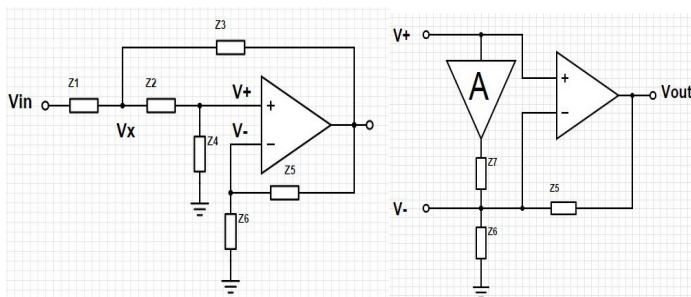


Рис. 1. Общий вид фильтра Sallen-Key (слева) и узел (справа), который предлагается вставить на место ОУ в классической схеме

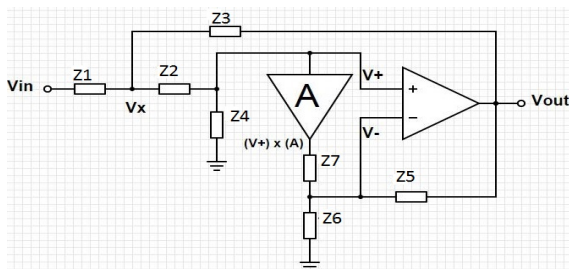


Рис. 2. Схема полученного фильтра

Общий вид передаточной функции полученного фильтра выглядит следующим образом:

$$\frac{V_{\text{вых}}}{V_{\text{вх}}} = \frac{Z_3 Z_4 \cdot (Z_1 Z_7 + Z_6 \cdot (Z_7 - A + 1))}{Z_6 Z_7 \cdot (Z_3 Z_4 - Z_1 Z_2 - Z_2 Z_7) - Z_1 Z_4 Z_7 Z_7 + Z_1 Z_4 Z_6 \cdot (A - 1)}$$

В случае, когда $A \gg 1$ и $Z_7 \ll Z_6 \leq Z_3$, фильтр становится инвертирующим.

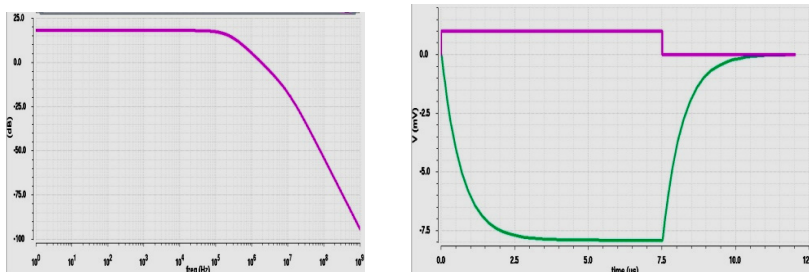


Рис. 3. АЧХ полученного фильтра (слева)
и реакция фильтра на входной сигнал (справа)

Список литературы

1. E.V. Atkin Generalized Case Of Direct Current Differential Amplifier//Proceedings of the 29th international conference on microelectronics, 2014, 447 – 450.

А.В. ПОЛЕВ

Научный руководитель – В.А. КОНДУСОВ, к.т.н., доцент
Воронежский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ПОРТАТИВНОГО КОМПЬЮТЕРА

Рассматриваются вопросы разработки источника питания для обеспечения возможности бесперебойной работы портативного компьютера от автомобильной сети.

Актуальной является разработка источника питания портативного компьютера от автомобильной сети, который повышает напряжение до необходимых 19 В. Разрабатываемый источник питания обладает рядом высоких характеристик. Напряжение питания в диапазоне от 10,8 до 14,4В позволяет устройству функционировать в автомобиле как при включенном, так и при выключенном двигателе.

По сути источник питания портативного компьютера является преобразователем напряжения с использованием индуктивных накопителей энергии.

Электрорадиоэлементы устройства размещаются на одной печатной плате, изготовленной химическим субтрактивным методом из одностороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм по 2 классу точности. Монтаж осуществляется групповой пайкой волной.

Прочность конструкции, устойчивой к механическим воздействиям достигается выполнением элементов корпуса литьем под давлением из АБС-пластика, обладающего высокой пластичностью и ударопрочностью.

Радиатор, предназначенный для охлаждения транзистора VT-3 и Диода Шоттки, выполнен методом холодной листовой штамповки из листового алюминия марки АМг5 толщиной 2 мм.

Изделие состоит из печатной платы, радиатора, основания, крышки, коммутирующих кабелей с соединительными вилкой и розеткой.

Данное устройство является актуальным на сегодняшний день и конкурентоспособным в условиях современного рынка.

Список литературы

1 Материалы официального Интернет-сайта – radiostorage – Режим доступа: <http://radiostorage.net/?area=news/2780>

Е.В. МАРЬИНА, Э.Ф. ИМАМЕТДИНОВ
 Научный руководитель – А.А. КРАСНЮК, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ МДП-СТРУКТУР ДЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Проведен анализ характеристик МДП-транзисторов с полностью и с периодически легированным каналом для предельных режимов работы с целью проверки стабильности транзисторов и оценки их поведения для высокотемпературных режимов работы.

Метод периодически легированного канала первоначально рассматривался как приложение для транзисторных структур на органических полупроводниках. Однако возможности модуляции проводимости канала в КМОП транзисторах также представляют значительный интерес и для высокотемпературной микроэлектроники. Разработана приборно-технологическая модель МДП транзистора с периодическим легированием канала (PDCFET) на основе программ технологического моделирования, которая позволяет решать вопросы технологической реализации и характеризации для транзисторов, изготавливаемых по нормам 0,18 - 0,5 мкм путем формирования подзатворных областей на основе наномасок для высокотемпературных приложений. На рис. 1 приведена моделируемая структура и референсный транзистор, на основании которой проведены исследования характеристик PDCFET.

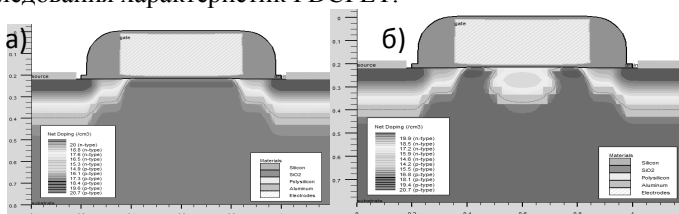
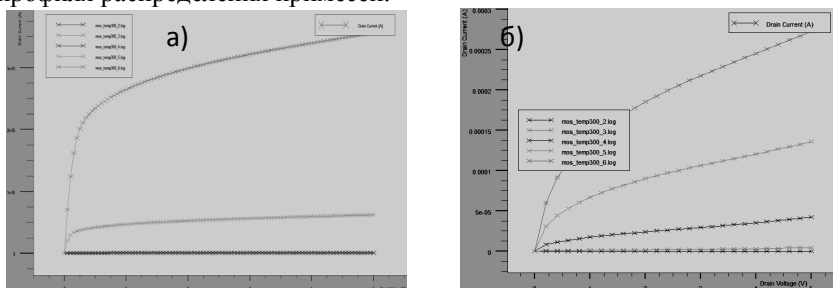


Рис.1. Сравнительные модели МДП-транзисторов с полностью (рис.1,а) и с периодически легированным каналом (рис.1,б)

На рис.2 приведены графики выходных характеристик транзисторов при подаче разного напряжения на затвор: 0,6/0,8/1,0/1,2/1,4. Сравнивая эти характеристики, можно увидеть, что на транзисторе с периодически легированным каналом наблюдается возрастание тока в области насыщения в 10 раз больше чем у референсной МДП структуры. Так же рассмотрены стоковые характеристики транзисторов при различных температурах (183,

213, 243, 273, 300, 330, 360, 373, 390, 423, 450, 480, 510, 523, 553 К) и напряжениях 0,8В на затворе (рис.3).

Отмечено, что в модели PDCFET возникает большое влияние эффекта короткого канала, проявляющегося в эффекте модуляции длины канала и заметном росте тока стока. Следовательно, структура транзистора с традиционным распределением концентрации примесей требует коррекции, т.к. не обеспечивается стабильность при высоких температурах. Недостатки могут быть устранены с помощью уменьшения ширины обедненной области под стоком и истоком и изменением расположения ретроградного профиля распределения примесей.



К.С. ЗЕМЦОВ

Научный руководитель – Г.И. ЗЕБРЕВ, д.т.н., доцент
 Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИИ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРАТНОСТЕЙ СБОЕВ В СХЕМАХ ПАМЯТИ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ИНТЕГРАЦИИ

Проведено моделирование разброса кратностей сбоя для разных значений линейной передачи энергии (ЛПЭ) тяжелых ионов. Разброс кратностей объясняется флуктуацией энерговыделения (страгглингом).

В схемах высокой степени интеграции при воздействии одной тяжелой заряженной частицы (ТЗЧ) может сбиться несколько ячеек памяти. Такие сбои называют множественными, а количество сбитых ячеек одной частицей – кратностью сбоя. В работе [1] было экспериментально получено распределение по кратностям сбоя для разных ЛПЭ. Разброс кратностей сбоя для заданного ЛПЭ имеет один порядок со средней кратностью сбоя. Средняя кратность сбоя растёт приблизительно по линейному закону [2]. Критический заряд в схемах с технологией < 100 нм не превышает 1 фКл [3], что сопоставимо с флуктуацией собранного заряда, обусловленного флуктуацией энерговыделения (страгглингом) в чувствительном объеме. Для описания флуктуации энерговыделения воспользуемся распределением Бора

$$P_{Bohr}(\Delta E, \langle \Delta E \rangle) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\Omega_B} \exp\left(-\frac{(\Delta E - \langle \Delta E \rangle)^2}{2\Omega_B^2}\right), \quad (1)$$

где $\langle \Delta E \rangle$ – среднее энерговыделение, $\Omega_B^2 = (2/B)T_{\max} \langle \Delta E \rangle$ – дисперсия энерговыделения, $T_{\max}$ – максимальная энергия, которая может быть передана электрону пролетающим ионом, B – кулоновский логарифм. Зависимость среднего энерговыделения от ЛПЭ имеет вид:

$$\langle \Delta E \rangle = \Lambda \rho d, \quad (2)$$

где Λ – ЛПЭ, ρ – массовая плотность кремния, d – эффективная длина сбоя заряда. Флуктуация выделения заряда приводит флуктуациям собранного заряда

$$Q = \frac{\Delta E}{\varepsilon_{e-h}} q, \quad (3)$$

где q – заряд электрона, ε_{e-h} – энергия образования электрон-дырочной пары. Взаимосвязь величины энерговыделения и собранного заряда приводит к тому, что распределение по энерговыделению и распределение по кратностям сбоев одинаковы. Сравнение экспериментальных данных [1] и распределения, полученного из флуктуации энергии по кратностям, для разных ЛПЭ представлено на рис.1.

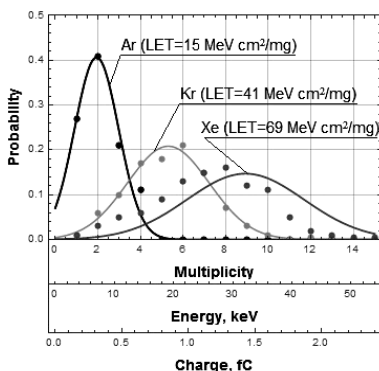


Рис. 1. Сравнение модели с экспериментом. Соответствие кратностей сбоев энергии и заряду: $d = 2$ нм, $Q_{crit} = 0.16$ фКл

На рис.1 видно, что распределение по кратностям сбоев и распределение флуктуации энерговыделения хорошо совпадают. Кроме того, критический заряд хорошо соответствует по величине с данными в работе [3].

Список литературы

1. В.В. Емельянов, А.И. Озеров, Р.Г. Усейнов, В.С. Анашин, "Оценка сечений множественных сбоев в КМОП СОЗУ по результатам экспериментов на ускорителях ТЗЧ" // Конференция «Стойкость-2013». Лыткарино, 2013.
2. Г.И. Зебрев, М.С. Горбунов, Р.Г. Усейнов, А. Озеров, В.В. Емельянов, В.С. Анашин, А. Козюков, К. Земцов, Г. Шередко "Статистический подход к описанию множественных сбоев в цифровых схемах памяти высокой степени интеграции" // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2014. Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. М.: ИПИМ РАН, 2014. Часть III. С. 167-170.
3. M.P. King, R.A. Reed, R.A. Weller, M.H. Mendenhall, R.D. Schrimpf, M.L. Alles, E.C. Auden, S.E. Armstrong, M. Asai, "The Impact of Delta-Rays on Single-Event Upsets in Highly Scaled SOI SRAMs," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 57, no. 6, pp. 3169-3175, Dec. 2010.

Е.А. БЕРЛЕВ

Научный руководитель – А.В. ТУРЕЦКИЙ, к.т.н., доцент
Воронежский государственный технический университет

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОМЕЩЕНИИ

Рассмотрена разработка конструкции силового блока дистанционной системы регулирования температуры в помещении, предназначенный для автоматизации процессов, требующих измерения и регулирования температуры с целью уменьшения габаритных размеров, упрощения производства и эксплуатации, как следствие, снижение его стоимости без ухудшения его характеристик чувствительности.

В ВГТУ на кафедре конструирования и проектирования радиоэлектроники в рамках дипломного проекта была разработана система автоматического поддержания температуры в помещении.

Разрабатываемое устройство представляет собой блок, выполняющий функцию измерения температуры и коммутации мощных нагревателей. Устройство может быть объединено в сеть посредством протокола 1-wire для централизованного удаленного управления.

В результате анализа технического задания на устройство можно сделать вывод, что производство изделия возможно на любом радиотехническом предприятии с применением широко используемых материалов и оборудования, не требующего специальной оснастки.

Таким образом, разработанная конструкция силового блока отличается высокими функциональными возможностями с хорошими техническими, эксплуатационными и экономическими характеристиками.

Предложенное устройство является конкурентоспособным.

Список литературы

1. Электронный каталог Югтеплоэнергострой – Электрон. дан. – Режим доступа: [<http://www.yutes.ru>].
2. Электронный каталог Энергостиль – Электрон. дан. – Режим доступа: [<http://www.energostyle.ru>].

Н.Н. ПОНОМАРЕВ

Научный руководитель – В.С. СКОРОБОГАТОВ, к.т.н., доцент
Воронежский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ФЕРРИТОВОГО ВЕНТИЛЯ

Рассмотрена разработка конструкции ферритового вентиля диапазона 1-6 ТВ каналов, предназначенного, в первую очередь для защиты транзисторов выходного каскада мощного передатчика от выхода из строя в случае обрыва антенного фидера.

В ВГТУ на кафедре «Конструирование и проектирование радиоэлектронной аппаратуры» в рамках дипломного проектирования был разработан ферритовый вентиль для защиты мощного передатчика от выхода из строя.

Задачей являлась разработка конструкции ферритового вентиля диапазона 1-6 ТВ каналов, предназначенного, в первую очередь для защиты транзисторов выходного каскада мощного передатчика от выхода из строя в случае обрыва антенного фидера.

Актуальность темы объясняется увеличением числа работающих передатчиков в последнее время, возрастанием их мощности и как следствие ростом помех по соседним каналам, от которых необходимо отстраиваться. Ферритовый вентиль позволяет снизить уровень этих помех.

Технико-экономический анализ [1] показал, что новое устройство обладает достаточно высокими функциональными и техническими характеристиками. Ферритовые вентили нашли широкое практическое применение для развязки различных участков СВЧ тракта между собой, а также исключения вредного влияния отражений на передающие и приемные устройства РЛС.

Применение ферритовых вентилях резко улучшает работу генераторов СВЧ колебаний, способствует уменьшению затягивания частоты, улучшению спектра частот, устранению эффекта длинной линии и т.д. [2]

Список литературы

1. Конструирование, технология, эффективность радиоэлектронных средств: учеб. пособие по дипломному проектированию/ И.А. Бейнар, В.А. Муратов, А.А. Соболев. Воронеж ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. Ч. 2. 283 с.
2. Конструирование экранов и СВЧ-устройств/Чернушенко А. М. Москва: Радио и связь, 1990. 286с.

Р.В. ПЕЛЬТИХИН

Научный руководитель – **И.А. НОВИКОВА**, к.т.н., доцент
Воронежский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСОВ

В данной статье рассматривается проблема миниатюризации генератора, разработанная конструкция и технология изготовления генератора с минимальными размерами.

В современных условиях актуальной является задача создания малогабаритного генератора, имеющего небольшой вес и пригодного для тестирования микросхем.

Расчет компоновочных показателей генератора показал, что его конструкция полностью удовлетворяет требованиям микроминиатюризации современной бытовой техники. Устройство питается от NiCd аккумулятора напряжением 4.5 В, но можно использовать и 5-вольтовый источник, что было подтверждено испытаниями [1].

Схему несложно собрать на макетной плате и вместе с внешними компонентами разместить в подходящем корпусе.

Исходя из технологических возможностей производства и учитывая требования, предъявляемые к изделию, выбран комбинированный позитивный метод изготовления двухсторонней ПП. Плотность печатного монтажа соответствует первому классу [2].

Дальнейшая модернизация устройства может идти по пути улучшения схемотехники и расширения функциональных возможностей.

Список литературы

1. Варламова Р.Г. справочник конструктора РЭА. Компоненты, механизмы, надёжность, Радио и связь, 2003.
2. Проектирование и технология радиоэлектронных средств: разработка конструкции изделий РЭС: учеб. пособие / И.А. Бейнар, В.А. Муратов, Л.С. Очнева, А.А. Соболев. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006.

О.А. БАЙКОВА

Научный руководитель – М.Н. СТРИХАНОВ, д.ф.-м.н., профессор
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО КЛИСТРОНА С КПД ОКОЛО 90%

На основе компьютерного моделирования показано, что в мощном импульсном клистроне может быть достигнут КПД около 90%. Для этого требуется реализовать пульсирующий волнообразный характер группирования, увеличив длину группирования примерно в 1.8 раз по сравнению с прототипом.

Мощные импульсные клистроны используются для питания ускорителей заряженных частиц, но могут применяться и в технологических процессах, например, для изготовления пеностекла и других перспективных строительных материалов, а также в энергетике при беспроводной передаче электрической энергии. Для указанных применений особенно актуальным является вопрос повышения КПД, который у существующих клистронов не превышает 65%.

В работах [1]-[3] показано, что можно увеличить КПД клистрона примерно до 90% на основе пульсирующего волнообразного процесса группирования.

Рассмотрим моделирование клистрона с выходной мощностью 6 МВт с рабочей частотой 911 МГц и с максимально возможным КПД. Для моделирования использовался комплекс программ KlyrWin [2],[3] на основе дискретно-аналитической модели [1]. Для оптимизации использовался комбинированный метод, включающий метод зондирования [4] и метод перебора с масштабированием [5]. Оптимизация проводилась по 17-и параметрам: 7-и расстройкам резонаторов, 6-и длинам труб дрейфа, по добротностям 1-го, 2-го и последнего резонаторов, а также по входной мощности.

В результате оптимизации получено несколько вариантов клистрона с КПД 87% в нагрузку и с электронным КПД около 90%. Фазовые траектории одного из таких клистронов приведены на рис.1, из которого видно, что внутренние частицы сгустка в процессе группирования пульсируют, то приближаясь к центру сгустка, то слегка удаляясь от него. Периферий-

ные же частицы монотонно приближаются к центру сгустка. В результате к моменту влета в выходной зазор все частицы оказываются собранными в достаточно короткий сгусток без нарушения порядка следования (без обгона). Упорядоченная структура сгустка на входе в выходной зазор позволяет обеспечить процесс торможения сгустка в СВЧ-поле без его разрушения, что и приводит в конечном итоге к высокому КПД. При этом длина группирования оказалась в 1.8 раза больше, чем у прототипа.



Рис.1. Фазовые траектории прибора с КПД 87%.

Таким образом, смоделированы клистроны для частоты 991 МГц с выходной мощностью 6 МВт, способные работать в квазинепрерывном режиме с КПД 87%. Показано, что для достижения такого КПД необходимо реализовать пульсирующий волнообразный характер группирования. В результате этого процесса получается короткий упорядоченный сгусток, от которого может быть эффективно отобрана энергия в выходном зазоре. Для реализации такого характера группирования необходимо существенно увеличить длину группирования.

Список литературы

1. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н., Тищенко А.А. Математическая модель трансформации электронного пучка в узкой трубе. ЖТФ, 2012, том 82, вып. 6., С. 90 – 100.
2. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н. Исследование зависимости максимального КПД от коэффициента усиления в двухрезонаторных клистроны. ЖТФ, 2013, Т. 83, вып.4, с.127-133.
3. Байков А.Ю., Грушина О.А., Стриханов М.Н. Моделирование условий достижения максимального КПД в клистроны дециметрового диапазона. ЖТФ, 2014, том 84, вып.3.
4. G.M. Antonova and A.Yu. Bajkov. LPt-Search with Averaging Methodology for Optimizing Powerful and Super-Power Klystrons //ACIT - Signal and Image Processing.
5. Байков А.Ю., Ежиков В.Б. Метод перебора с масштабированием в задачах одномерной оптимизации //Труды конференции «Математика, информатика, естествознание в экономике и в обществе» М.:МФЮА 2010. С. 53-57

РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА

А.А. ПИВЦАЕВ

Научный руководитель – В.И. БЕЛОКОНЬ, д.ф.-м.н., профессор
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПИЩЕВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИОННОЙ ВРЕМЕННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Методом позитронной аннигиляционной спектроскопии с временным разрешением исследованы вещества, являющиеся пищевыми красителями: Е-102 (Тартразин), Е-124 (Понсо 4R), Е-132 (Индигокармин), Е-133 (Синий блестящий), Е-151 (Черный блестящий). Установлена разница между красителями, обладающими явными канцерогенными свойствами и обладающими мутагенными свойствами (не явные канцерогены).

Методом ПАВС было предложено изучить синтетические красители, чтобы: 1) установить – является ли данный метод оптимальным (быстрым и эффективным), для исследования химических добавок (на примере красителей); 2) изучить аннигиляционные спектры растворов с разной концентрацией красителей; 3) подтвердить или опровергнуть безопасность использования данных концентраций в пищевой промышленности.

Ранее в наших исследованиях был изучен метод позитронной аннигиляционной временной спектроскопии (ПАВС), как быстрый и эффективный метод выявления канцерогенных свойств веществ, по значению долгоживущей временной компоненты τ_3 позитрония (Ps) [5]. Было выявлено, что если значение τ_3 , больше $(1,005 \pm 0,005)$ нс, то вещество не обладает канцерогенными свойствами, а если меньше – является канцерогеном [5].

Для разрешения поставленных целей были изучены аннигиляционные спектры пищевых красителей, проявляющих явные канцерогенные свойства: Е-133, Е-124, и проявляющих не явные канцерогенные свойства – мутагенные: Е-132 и Е-151, Е-102 и их: 10%, 5%, 2,5% и 1% растворов [1, 2, 3]. Измерения проводились на спектрометре быстро-быстрых совпадений PAL «ORTEC», использовался радиоактивный источник ^{22}Na с активностью ~ 300 кБк, аппаратное разрешение, рассчитанное по временной линии ^{60}Co составило 187 ± 7 пс. С помощью программ Taufit и PALSfit v2.23 [6] рассчитаны аннигиляционные характеристики исследуемых веществ: τ_i (время жизни Ps) и I_i (интенсивность). И по полученным, после

обработки, данным был построен график зависимости временной компоненты (τ_3) от концентрации красителей, рис.1.

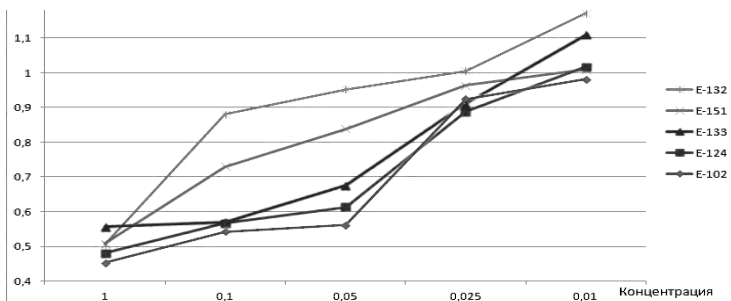


Рис. 1. График зависимости временной компоненты (τ_3) от концентрации красителей

Из рис.1, при концентрации 5%, наглядно видна разница между, мутагенными красителями E151, E132, и остальными красителями, явно проявляющих канцерогенные свойства. Значение τ_3 в 1% растворе, практически у всех красителей выходит за границу в 1,0 нс, что переводит их в группу не канцерогены, что и подтверждается экспериментально в опытах на животных. Но постепенное увеличение концентрации E-132 и E-151 приводит к резкому уменьшению времени жизни позитрония (τ_3), т. е. к увеличению канцерогенности; а для остальных красителей – при увеличении концентрации, τ_3 уменьшается медленно, а значит, канцерогенные свойства будут сильно проявляться при наиболее больших концентрациях [7].

Т.о., метод ПАВС указывает на негативное воздействие использования в пищевой промышленности данных синтетических красителей.

Список литературы

1. Report on Carcinogens, Twelfth Edition 2011, U.S.Department of Health and Human Services National Toxicology Program.
2. Андрианова М.М. Канцерогенные свойства красных пищевых красителей амаранта, пунцового SX и пунцового 4R. // Вопросы питания. —1970. —N 5. —С. 61—65.
3. Изучение мутагенного действия пищевых красителей тартразина и индигокармина / Карплюк И.А. и другие. //Вопросы питания. —1984. —N 2. —С. 58—61.
4. СанПиН 2.3.2.1293-03 Гигиенические требования по применению пищевых добавок.
5. Пивцаев А. А., Разов В. И. Исследование химических канцерогенов методом позитронной аннигиляционной спектроскопии с временным разрешением// Журнал прикладной спектроскопии. Т. 80, № 5, 2013. 806 – 809.
6. Available at: <http://www.palsfit.dk>
7. Никитина Е. В., Решетник О.А. Биобезопасность пищевых продуктов: Учебное пособие. // Казанский государственный технологический университет – Казань, 2006, 92 с.

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И.А. БОБРОВА

Научный руководитель – М.К. КУЗЬМИН, д.ф.-м.н., профессор
Московский государственный областной университет

ОПЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ФИЗИКИ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

В данной работе приведены решения некоторых задач физики на колебательные процессы с использованием операционного метода: задача на нахождение отклонения математического маятника, на нахождение перемещения частицы на пружине и задача, связанная с нахождением продольных колебаний стержня.

Операционный метод (преобразование Лапласа) широко применяется при решении обыкновенных дифференциальных уравнений, дифференциальных уравнений с частными производными, дифференциально-разностных, интегральных, интегро-дифференциальных и других уравнений.

Цель исследовательской работы состоит в том, чтобы продемонстрировать эффективность преобразования Лапласа при решении задач физики на колебательные процессы.

Были рассмотрены следующие задачи и найдены их решения в явном виде:

1. Математический маятник длины l выводится из положения равновесия горизонтальным перемещением точки подвеса на расстояние a . Найти отклонение маятника [1]:

$$\varphi(t) = a(1 - \cos \omega_1 t).$$

2. Две частицы с массами M и m соединены между собою пружиной жесткости k и находятся в состоянии покоя на гладкой горизонтальной плоскости. Частица M получает импульс P по направлению к другой час-

тице. Определить перемещение частицы M относительно первоначального положения [1]:

$$x_1(t) = \frac{F}{M(M+m)\omega_0} (M\omega_0 t + m \sin \omega_0 t).$$

3. Стержень длины l находится в состоянии покоя и его конец $x = 0$ закреплен, а к свободному концу $x = l$ приложена сила $A \sin \omega t$, направленная по оси стержня.

Найти продольные колебания стержня [2]:

$$u(x, t) = \frac{\sin \frac{\omega}{a} x \sin \omega t}{\omega^2 \cos \frac{\omega}{a} l} + \frac{2a^2 A \omega}{l} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{\sin \frac{\omega_k}{a} x \sin \omega_k t}{(\omega_k^2 - \omega^2) \omega_k}.$$

Рассмотрев данные задачи и сравнив решения, полученные классическими методами (метод интегрирования для обыкновенных дифференциальных уравнений и метод Фурье для дифференциальных уравнений с частными производными) и методом преобразования Лапласа, мы пришли к выводу, что рациональнее использовать операционный метод.

В дальнейшем планируется исследование задач теплопроводности и их решение операционным методом.

Список литературы

1. Шелковников, Ф.А. Сборник упражнений по операционному исчислению [Текст] / Ф.А. Шелковников, К.Г. Такайшвили. — М.: «Высшая школа», 2006. — 256 с.: ил.
2. Будак, Б.М. Сборник задач по математической физике [Текст] / Б.М. Будак, А.А. Самарский, А.Н. Тихонов. — М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 2004. — 685 с.: ил.

О.А. КОСТРОВА

Научный руководитель – С.А. ЛУПИН, к.т.н., профессор
НИУ «МИЭТ», Зеленоград, Москва

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

В ходе решения различных задач механики, теплопроводности, электростатики и гидравлики регулярно возникает необходимость решения дифференциальных уравнений. Точного аналитического решения для некоторых типов уравнений при сложных граничных условиях, налагаемых физической постановкой задачи, не существует. Поэтому нахождение оптимальных численных методов для получения решения уравнения с необходимой точностью за минимальное время и при наименьших вычислительных затратах является важной задачей, которую необходимо решить для модельного описания физических процессов.

В качестве примера рассмотрим дифференциальное уравнение, описывающее амортизационную систему. Это уравнение не имеет аналитического решения при сложных воздействиях, но поведение таких объектов можно моделировать с использованием численных методов.

Модель амортизационной системы, основанная на дифференциальном уравнении второго порядка, реализована в двух программных средах – в Matlab и Multisim. Проведено сравнение полученных результатов и временных затрат на получение решения при различных воздействиях.

Дифференциальные уравнения можно решать и на аналоговых машинах. Разработана структурная схема модели для ее последующей реализации на плате National Instruments Elvis.

Целью работы является сравнение результатов численного и аналогового моделирования.

В ходе дальнейшей работы планируется исследовать возможность совмещения программных и аппаратных средств, для моделирования в реальном времени дифференциальных уравнений, описывающих поведение сложных систем.

Список литературы

1. Статья «Виды дифференциальных уравнений, методы решения» с сайта <http://www.cleverstudents.ru/>.
2. Статья «Решение задачи Коши для систем ОДУ» с сайта <http://www.exponenta.ru/>.
3. Суровцев Ю.А. Амортизация радиоэлектронной аппаратуры. – Сов.радио, 1974.

ТХУРАЙН ТУН, А.М. ШОШИН

Научный руководитель – А.В. ГУРЕЕВ, д.т.н., доцент

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ВНУТРИ ЗДАНИЙ

Экспериментально исследуются особенности распространения информации внутри зданий. Показано, что наилучшим образом полученные результаты объясняются с помощью волноводной модели распространения.

Быстрый рост беспроводных технологий привел к тому, что множество радиоканалов передачи информации в настоящее время полностью или частично располагается внутри зданий. В отличие от открытой местности, где для разных географических и климатических условий распространения электромагнитных волн предложены удобные расчетные модели, внутри зданий универсальное решение задачи анализа и оптимизации характеристик беспроводных сетей отсутствует. Причин этого несколько. С одной стороны, необходимо учитывать множество исходных данных, влияющих на характеристики передачи информации. К ним относятся планировка зданий, электрические параметры элементов их конструкций, характер заполнения помещений и т.д. Кроме того, по сравнению с условиями открытой местности, появляется множество дополнительных факторов, среди которых одним из важнейших является многолучевость распространения электромагнитных волн.

Целью данной работы является экспериментальное исследование характеристик распространения сигналов внутри зданий и выбор математической модели, наилучшим образом описывающей полученные результаты.

Измерения проводились в помещениях кафедры Радиоэлектроники Национального исследовательского университета «МИЭТ» на частоте 2,4 ГГц. Исследовалось распределение мощности принимаемого сигнала вдоль окружающих помещения стен. Расстояние между соседними точками, в которых измерялись значения мощности, составляло 15 см, что соответствовало предварительно экспериментально определенному интервалу пространственной корреляции принимаемого сигнала.

Регрессионный анализ результатов измерений приводит к следующим выводам:

- вдоль горизонтальных линий распределение уровня принимаемой мощности носит равномерный характер;
- уровень принимаемой мощности по высоте наилучшим образом описывается ступенчатой функцией, причем местоположение скачка зависит от характера заполнения помещения и с верхней кромкой поглощающих предметов, находящихся в нем (мебель, измерительное и технологическое оборудование, люди);
- за исключением небольшой окрестности излучателя ($3\div 5$ длин волн), характер распределения принимаемой мощности и ее величина практически не зависят от его места расположения и поляризации антенны.

При выборе математической модели, которая наилучшим образом объясняет полученные результаты, учитывалось, что их можно условно разделить на 4 группы:

- 1) Статистические, основанные на результатах экспериментальных исследований;
 - 2) Двухлучевые;
 - 3) Многолучевые, учитывающие отражения от стен помещения и дифракцию на углах;
 - 4) Волноводные (предельный случай многолучевых моделей)
- Применение моделей 1-й группы (статистические, ограничено условиями, в которых проводились измерения).
 - Модели 2-й группы широко используются вне зданий, но обладают большой погрешностью внутри зданий, где очень большая многолучевость распространения.
 - Модели 3-й группы очень сложны в реализации.
 - Волноводная модель является предельным случаем многолучевой и, как показывают проведенные в данной работе эксперименты, хорошо описывают особенности распространения [1-3].

Список литературы

1. Гуреев А.В., Кустов В.А. "Волноводная модель беспроводных каналов связи внутри зданий" // Электронный журнал "Исследовано в России", 135, стр. 1519-1536, 2002 г. www.ebiblioteka.lt/resursai/Uzsienio%20leidiniai/MFTI/2002/135.pdf
2. Гуреев А.В. "Компьютерное моделирование беспроводных сетей передачи данных внутри зданий" // Тезисы докладов 58-й Всесоюзной научной сессии, посвященной Дню радио. М., 2003. Т. 1. С. 96-98.
3. Serfaty, Y., Porrat, D. Waveguide phenomena in wideband indoor radio channel. - 2010 IEEE 26-th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel. – 2010. - P.310-314.

К.А. КУЗНЕЦОВ, В.М. КОНОНОВ
Научный руководитель – В.В. КЛИМОВ, к.т.н.,
старший преподаватель

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ФАЗОВЫХ ПОРТРЕТОВ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В докладе проводится обзор системы автоматизированного построения фазовых портретов в трехмерном пространстве. Данная система позволяет наглядно изучать поведение и свойства динамических систем.

Зачастую сложные вещи в учебном процессе остаются недопонятыми из-за невозможности визуализировать процесс решения или постановки задачи. Как правило, такие ситуации приводят к пробелам в знаниях или представлениях о процессах только на теоритическом уровне.

В данной работе описывается система, позволяющая получать решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений и визуализировать его в пространстве состояний (фазовом пространстве), то есть получать фазовый портрет решаемой системы.

Фазовое пространство – это пространство, на котором представлено множество всех состояний системы, так, что каждому возможному состоянию системы соответствует точка фазового пространства [1].

Для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений в разработанной системе используются фундаментальные численные методы решения – метод Эйлера и классический метод Рунге-Кутты 4-го порядка [2][3].

Благодаря ручному вводу точности вычисления решений систем ОДУ, удается получать достаточно гладкие фазовые портреты высокой точности.

Разработанная система представляет собой desktop-приложение реализованное на языке Java.

На рис. 1. представлен пример фазового портрета Аттрактора Лоренца.

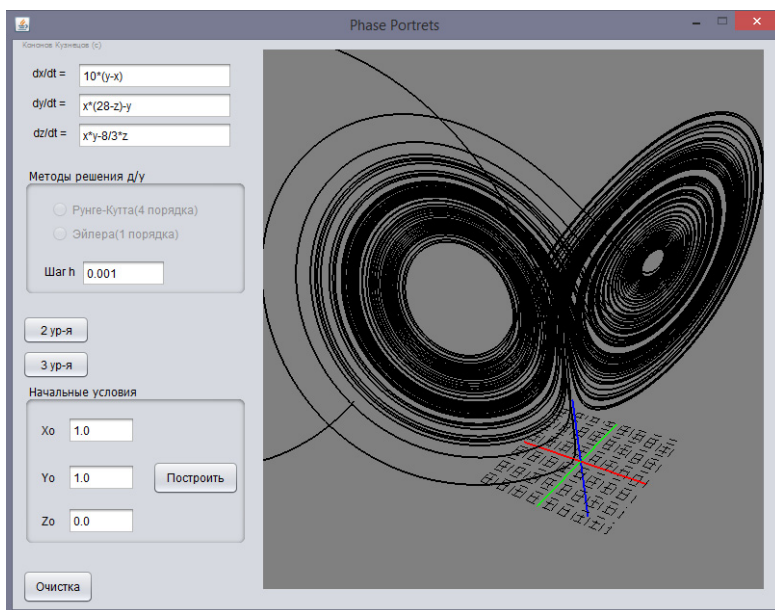


Рис. 1. Фазовый портрет Аттрактора Лоренца

В дальнейших планах добавить в систему несколько дополнительных функций, например, автоматическое определение устойчивости решаемой системы, изменение масштаба координатной сетки в режиме реального времени и другие полезные функции.

Разработанная система используется в качестве наглядного учебного материала при прохождении курса ОДУ на факультете КиБ НИЯУ МИФИ.

Список литературы

1. Арнольд В. И., Обыкновенные дифференциальные уравнения, 3 изд., М., 1984
2. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. — М.: Бином, 2001 — с. 363—375.
3. Эйлер Л. Интегральное исчисление. Том 1. — М.: ГИТТЛ. 1956.

М.А. ЛИЗУНОВА, В.А. ЛЕНСКИЙ

Научный руководитель – В.А. ГАНИ, к.ф.-м.н.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

НИЦ КИ «Институт теоретической и экспериментальной физики

им. А.И. Алиханова»

РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СТОЛКНОВЕНИЯХ КИНКОВ МОДЕЛИ ϕ^8 ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ

Выполнено численное моделирование столкновений кинков в рамках модели ϕ^8 в (1+1) измерениях. Проведен анализ численных результатов решения уравнения Эйлера-Лагранжа при различных значениях начальных скоростей. Найдено критическое значение начальной скорости, которое разделяет два режима столкновения – образование связанного состояния (ниже критической скорости) и разлет после одного соударения (выше критической скорости). Также при некоторых начальных скоростях, меньших критической, наблюдалось явление разлета кинков после двух соударений. Было дано объяснение этому явлению после изучения спектра малых возмущений кинка данной модели. Данная работа имеет приложение в некоторых задачах физики твердого тела.

Хорошо известно, что для моделирования фазовых переходов используют теоретико-полевые модели с действительным скалярным полем с полиномиальным самодействием. Например, с помощью модели ϕ^4 моделируется фазовый переход второго рода. Однако для более сложных процессов, например, для последовательности нескольких фазовых переходов, приходится использовать потенциалы в виде полиномов более высоких степеней. Одной из таких моделей является модель ϕ^8 , исследованию некоторых свойств которой посвящена наша работа. Кроме описанного применения, исследование столкновений кинков различных моделей позволяет воспроизводить движение дислокаций в твердых телах.

В нашей работе исследован спектр возмущений кинка модели ϕ^8 [1], потенциал которой - полином восьмой степени по полю. В данной работе исследовались специальные решения модели, называемые кинками [2-4].

В рамках исследования резонансных явлений численно решалось уравнение движения с помощью сходящейся консервативной разностной схемы. Начальные условия задавались в виде суммы двух движущихся навстречу друг другу кинков. Численное моделирование процесса столкновения кинков было выполнено при различных начальных скоростях.

Обнаружена критическая скорость v_{cr} , разделяющая два режима столкновения: неупругое отражение при $v_{in} \geq v_{cr}$ и захват $v_{in} < v_{cr}$. В области

$v_{in} < v_{cr}$ захват наблюдается не при всех начальных скоростях. Кроме него, обнаружены так называемые окна разлёта. Высказано предположение, что причиной их возникновения является резонансный обмен энергией между трансляционными модами (кинетическими энергиями) кинков и их вибрационными модами. Схожие сценарии столкновений ранее наблюдались для моделей ϕ^4 и ϕ^6 [2,5]. Для подтверждения этой гипотезы мы исследовали спектр малых возбуждений одиночного кинка путем решения линейаризованных уравнений движения и обнаружили два уровня в дискретном спектре. Наличие второго возбуждения с ненулевой энергией – вибрационной моды – и приводит к резонансным явлениям в столкновениях кинков исследуемой модели.

Представленная работа открывает большие перспективы для дальнейших исследований. Предстоит более детальное исследование окон разлёта: исследование их ширины, проверка выполнения резонансного соотношения между периодом колебаний, отвечающих вибрационной моде, и временем между первым и вторым соударениями кинков в «окне разлёта». Кроме того, в модели ϕ^8 имеются кинки, соединяющие другие вакуумы потенциала. Интересно проверить – будут ли для них реализовываться схожие сценарии.

Список литературы

1. Lohe M.A. Soliton structures in $P(\phi)_2$ /M.A. Lohe // Phys. Rev. D. – 1979. – volume 20. – p. 3120
2. Белова Т.И. Солитоны и их взаимодействия в классической теории поля/ Т.И. Белова, А.Е. Кудрявцев // Успехи физических наук. – 1977. – № 167. – с. 377
3. Bazeia D. Defect Structures in Field Theory/ D. Bazeia // Proceedings of XIII J.A. Swieca Summer School on Particles and Fields. – 2005. - №1. – p. 10
4. Khare A. Successive phase transitions and kink solutions in ϕ^8 , ϕ^{10} , and ϕ^{12} field theories/ A. Khare, I.C. Christov, A. Saxena // Phys. Rev. E. – 2014. – volume 90. – p. 023208
5. Gani V.A. Kink interactions in the (1+1)-dimensional ϕ^6 model/ V.A. Gani, A.E. Kudryavtsev, M.A. Lizunova // Phys. Rev. D. – 2014. – volume 89. – p. 125009

И.И. РОДЬКО, А.И. МАКСИМКИН, Р.А. ПАНАСЕНКО

Научные руководители – **Е.М. КУДРЯВЦЕВ**, д.ф.-м.н., профессор
Т.М. ХАЛФИН, старший преподаватель

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕРКИ УРАН-ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ РАДИАТОРОВ КАМЕР ДЕЛЕНИЯ НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВИБРАЦИИ

С целью контроля качества уран-оксидных покрытий плоских радиаторов камер деления разработан и внедрен в производственный процесс предприятия-заказчика стенд, предназначенный для осуществления вибронагрузки на плоские радиаторы камер деления.

Камеры деления используются для контроля нейтронного потока ядерных реакторов. Применяемые для внутриреакторных измерений потоков нейтронов камеры деления эксплуатируются в условиях интенсивных вибровоздействий, возникающих за счёт прокачки теплоносителя под высоким давлением.

При воздействии вибрации возможно отслоение покрытия радиаторов, от качества и надёжности которого напрямую зависит безопасность, эффективность работы ядерного реактора. Из этого следует необходимость проверки уран-оксидных покрытий камер деления на стойкость к воздействию вибрации. Вибронагрузка осуществляется при помощи разработанного вибростенда.

В состав установки входят: виброкамера, соленоид, блок управления стендом. Источником вибровоздействия на ножку крепления виброкамеры, в которую при проведении испытаний устанавливается радиатор, является соленоид. Виброкамера имеет малый вес, обеспечивает герметичность внутреннего объёма, передачу вибронагрузки на радиатор без искажений.

Блок управления стендом реализован с помощью устройства сбора данных NI USB-6008 и устройства сопряжения собственной разработки,

построенного на базе микроконтроллера ATmega328P. Сигнал с блока управления поступает на соленоид.

Испытания проводятся методом качающейся частоты, путём воздействия синусоидальной вибрации во всём диапазоне частот, который задаётся до начала испытаний, при непрерывном изменении частоты с единой скоростью от минимальной к максимальной и, затем, от максимальной к минимальной.

Для автоматизации работы вибростенда и выполнения требований, предъявляемых к средствам выборочного выходного контроля в составе производственно-технологической линии радиаторов камер деления, разработано программное обеспечение. Программное обеспечение имеет развитый графический интерфейс пользователя. В его функции входит задание сложных многоступенчатых профилей вибрационной нагрузки в диапазоне частот от 0 до 400 Гц с заданной амплитудой или ускорением в соответствии с программой и методикой испытаний радиаторов камер деления. Также имеется функция циклических испытаний. Корректировка амплитуды и ускорения ведётся постоянно в течение всего процесса вибронагрузки посредством трехосевого цифрового датчика ускорения.

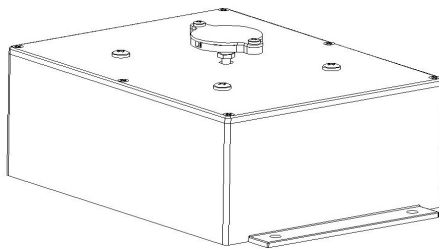


Рис. 1. Внешний вид вибростенда в сборе

После проведения вибровоздействия радиатор вынимают из виброкамеры, промывают дистиллированной водой в термостойком химическом стакане. Затем электрод передают на повторное определение равномерности уран-оксидного покрытия при помощи стенда мэппинга [2].

Реализована возможность сравнения результатов двух измерений поверхностной активности, по результатам которой дают заключение о вибростойкости уран-оксидных покрытий радиаторов камер деления.

Итогом работы стал готовый к эксплуатации вибростенд, который впоследствии был передан предприятию-заказчику для определения стойкости плоских радиаторов камер деления к воздействию вибрации.

Разработанные методы и принципы построения данной испытательной системы могут быть применены для обеспечения выполнения экспериментальных работ по определению качества тепловыделяющих элементов в реакторах нового поколения в рамках соглашения №14.578.21.0067 с Министерством образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. Трэвис Д., LabVIEW для всех - ДМК Пресс, Москва, 2011, 904 с.
2. Максимкин А.И., Родько И.И. Автоматизация экспериментального стенда мэппинга поверхностной активности уранового слоя. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013. Сборник научных трудов. – 2013 . Т. 1, с 92-93.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ СТАТЕЙ

– А –

Александров Р.А., 51
Алехин А.А., 113
Амбуркин Д.М., 82
Антонюк А.В., 68
Аткин Э.В., 115, 130, 132, 134
Ашанин И.А., 60

– Б –

Байкова О.А., 144
Бакун А.Д., 106
Балашов Ю.С., 129
Баранов В.Г., 18
Барышев Г.К., 43
Белова М.П., 102
Белоконь В.И., 146
Берлев Е.А., 141
Бирюков А.П., 41
Бирюкова К.С., 62
Боброва И.А., 148
Богданова А.А., 118
Бойченко Д.В., 102
Боруздина А.Б., 90
Булычев И.Г., 67
Бульбаков И.С., 115

– В –

Вереитин В.В., 110
Виноградов С.М., 125, 127
Воронов Ю.А., 106

– Г –

Галиуллов И.Н., 32
Гани В.А., 155
Герасимчук А.В., 122
Гетманец М.Г., 28
Гололобов С.М., 16

Григорьев Е.Г., 39
Григорьев Н.Г., 70
Гурбанова Ш.А., 24
Гуреев А.В., 151
Гусев А.В., 134

– Д –

Довгополая Е.А., 36
Доможаков Д.А., 72, 120

– Е –

Ельников И.А., 26
Есеньков К.А., 122

– Ж –

Жаворонкова А.А., 14
Жаринов Е.С., 66
Жихарев Г.Ю., 118, 122

– З –

Захарова А.О., 58
Зебрев Г.И., 139
Зуйков А.В., 65
Земцов К.С., 139

– И –

Имаметдинов Э.Ф., 137

– К –

Кагирина К.А., 104
Казымова Ю.А., 64
Карасева М.Д., 47
Катунин Ю.В., 86
Климов В.В., 153
Кобзарь М.С., 122

Кобыляцкий А.В., 70
Коваль А.А., 22
Комарова Н.А., 98, 100
Комлев А.А., 114
Кондратенко С.В., 72, 120, 125, 127
Кондусов В.А., 136
Конев В.Н., 26, 58
Кононов В.М., 153
Коптелов М.В., 34
Королев М.В., 45
Кострова О.А., 150
Краснюк А.А., 137
Кривошеин И.Н., 14, 20
Кривцов Д.Н., 108
Крутов А.А., 84
Кудрявцев Е.М., 157
Кузнецов К.А., 153
Кузьмин М.К., 148
Курчатов И.М., 45, 47, 49, 51

– Л –

Лагунцов Н.И., 45, 47, 49, 51
Лебедев В.В., 62
Левин К.Э., 88
Ленский В.А., 155
Лизунова М.А., 155
Лихачёв Р.С., 112
Лупин С.А., 149

– М –

Макин Р.С., 53
Максимкин А.И., 157
Маркова Е.С., 27
Марфин В.А., 104
Марьина Е.В., 137
Масленников В.В., 36
Меховский Е.А., 96
Мещеряков В.В., 36
Митрофанов К.А., 129
Михайлов Д.М., 67

– Н –

Насонов И.И., 114
Некрасов П.В., 92, 94, 104
Никитин Л.Н., 108
Никитин С.Н., 18
Никифоров А.Ю., 82
Николаева Д.В., 37
Новикова Е.И., 124
Новикова И.А., 111, 143

– О –

Олевский Е.А., 39
Осипова Т.А., 53
Одложилик Б., 57
Орищенко А.В., 12, 30, 32, 55

– П –

Панасенко Р.А., 157
Панченко И.В., 124
Пельтихин Р.В., 143
Петрова Е.В., 98
Пивцаев А.А., 146
Полев А.В., 136
Полозов С.М., 60
Пономарев Н.Н., 142
Прохазка Т., 57
Пудов В.В., 80

– Р –

Родько И.И., 157
Ромащенко М.И., 113

– С –

Сагдиев И.Г., 130, 132
Семенов А.А., 16
Семенов И.Б., 37
Скоробогатов В.С., 142
Смолин А.А., 92, 94
Стариковский А.В., 64
Стенин В.Я., 68, 78, 80, 84, 86, 88

Степанов П.В., 78
Стриханов М.Н., 144
Сурин В.И., 41, 43

– Щ –

Щербакова Н.С., 28

– Т –

Тарасов Б.А., 18
Терновых М.Ю., 14, 20
Тиняев В.А., 117
Тихомиров Г.В., 14
Тишин А.А., 49
Турецкий А.В., 112, 141
Тхурайн Тун, 151

– Ю –

Юрлова М.С., 39
Юсупов А.Н., 12, 30, 55

– Я –

Ярмышев Д.В., 34

– У –

Узиков В.А., 22, 53
Уланова А.В., 90, 96, 98, 100

– Ф –

Фроимсон М.И., 27

– Х –

Халфин Т.М., 157
Харитонова Н.Л., 24
Хламов М.Г., 110

– Г –

Galimov A.M., 76

– D –

Drosdetsky M.G., 74

– Ч –

Черников А.В., 117
Черняк М.Е., 96
Чугунков И.В., 66

– Z –

Zebrev G.I., 74, 76

– Ш –

Шагурин И.И., 114, 117, 118,
122
Швецов-Шиловский И.И., 92, 94
Шлампа П., 57
Шмаков С.Б., 90
Шорников Д.П., 18
Шошин А.М., 151
Шувалов Р.Д., 65
Шульга А.С., 111

