



IV Научно-практическая
конференция

« **Физико-технические
интеллектуальные
системы** »

ФТИС • 2025



**Сборник
тезисов**

2025

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Институт физико-технических интеллектуальных систем (ИФТИС) НИЯУ МИФИ
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»



IV Научно-практическая конференция
«Физико-технические интеллектуальные системы»
(ФТИС-2025)

Сборник тезисов

ООО «Издательство Юлис»
2025

УДК 004.89:[53:681.518.3+621.039]

ББК 32.973

НЗ4

Составители: И.Г. Кулло, С.П. Масленников, Е.В. Рябева.

НЗ4 IV Научно-практическая конференция «Физико-технические интеллектуальные системы» (ФТИС–2025): Сборник тезисов – Тамбов: ООО «Издательство Юлис», 2025. – 100 с.

ISBN 978-5-98662-195-1

Сборник содержит тезисы докладов IV Научно-практической конференции «Физико-технические интеллектуальные системы» (ФТИС–2025), которая проходит в НИЯУ МИФИ (г. Москва) 11–13 февраля 2025 года.

НПК ФТИС проводится ежегодно, организаторами конференции выступают НИЯУ МИФИ и ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова».

В рамках НПК ФТИС–2025 работают две секции: «Информационно-измерительные и управляющие системы» и «Киберфизическое, электрофизическое и ядерное приборостроение».

В сборнике публикуются тезисы докладов по широкой тематике НИОКР: от разработок физических принципов создания ядерно-физической аппаратуры, моделирования ядерных и физических процессов до конструирования встроенных интеллектуальных систем и систем обработки данных и исполнительных систем. В материалах докладов рассматриваются актуальные вопросы использования интеллектуальных систем в космических экспериментах, ядерной медицине, геофизике, а также приводятся результаты исследований в фундаментальной науке, энергетике, экологическом мониторинге, радиационной безопасности, автоматизации технологических процессов и др.

Сборник тезисов предназначен для широкого круга специалистов в области интеллектуальных систем, ядерно-физических технологий, для разработчиков, конструкторов и эксплуатационников интеллектуальных и управляющих систем, а также для студентов старших курсов и аспирантов, обучающихся по указанным направлениям.

Издаётся в авторской редакции.

УДК 004.89:[53:681.518.3+621.039]

ББК 32.973

ISBN 978-5-98662-195-1

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2025

© Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», 2025

© Коллектив авторов, 2025

Место и даты проведения конференции

НИЯУ МИФИ
115409, г. Москва, Каширское ш., д. 31
11-13 февраля 2025 г.

Организаторы конференции



Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»



Институт физико-технических интеллектуальных систем (ИФТИС)
НИЯУ МИФИ



ВНИИА
РОСАТОМ



Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»

Контакты

Оргкомитет конференции: ftis-conf@yandex.ru

Организаторы - секретари секций:

Кулло Иван Геннадьевич

Секция «Информационно-измерительные и управляющие системы»
IGKullo@mephi.ru

Масленников Сергей Павлович

Секция «Киберфизическое, электрофизическое и ядерное приборостроение»
SPMaslennikov@mephi.ru

Официальный сайт конференции: ftis-conf.mephi.ru



Оглавление

Секция

«Информационно-измерительные и управляющие системы» 15

Разработка системы обнаружения серийных номеров
для видеоконтроля сборки модулей АСУ ТП
(**А.М. Асанов**, Н.А. Куликов)..... 16

Разработка и исследование системы определения типа
подстилающей поверхности для мобильного робота по данным СТЗ
(**А.А. Белолипецкий**) 17

Выбор параметров и коэффициентов для прогнозирования
радиационно-индуцированных сбоев в вычислительных устройствах
(**Г.М. Блохин**) 18

Программный комплекс для расчёта и анализа данных
переноса – накопления радионуклидов трития и углерода-14
в технологических системах водо-водяных энергетических реакторов
(к.т.н. **А.А. Болотов**, д.м.н. В.Г. Барчуков, А.С. Галузин, П.П. Сурин,
к.т.н. О.А. Кочетков, Н.А. Еремина)..... 19

Проект концепции создания и регламента функционирования
информационно-аналитической системы мониторинга радиационных
рисков на территориях, обслуживаемых ФМБА России
(**Ю.Н. Брагин**, к.м.н. А.Е. Колышкин, к.ф.-м.н. В.П. Крючков,
к.б.н. А.Г. Цовьянов, В.Е. Журавлева) 20

Программно-аппаратная реализация цифровых измерителей
параметров полупроводниковых детекторов, используемых
для «on-line»-дозиметрии в полях реакторного излучения
(И.В. Бутин, **А.В. Бутин**) 21

Импорт программ проверки электрического монтажа между
автоматизированными измерительными системами контроля
(**Е.С. Воробьева**) 22

Цифровизация в медицине на примере службы лучевой диагностики г. Москвы (Ю.В. Дружинина , З.А. Лантух, И.В. Солдатов)	23
Энергоэффективность процессоров для длительных космических экспедиций (Р.С. Дыбов)	24
Структура автоматического регулятора реакторной установки со свинцовым теплоносителем для вывода из подкритического состояния (С.В. Епифанов , к.т.н. А.О. Толоконский)	25
Результаты экспериментальных работ по регистрации непрерывных радиотехнических данных в ОНЧ-НЧ диапазонах (к.т.н. О.А. Герасимчук, к.т.н. Г.С. Засимов, к.т.н. Б.П. Знаменщиков , к.т.н. А.М. Пищимов).....	26
Температурные исследования конструкторских решений по построению безвентиляторной стойки электропитания ТПТС (В.М. Зуев , А.В. Козлов)	27
Структура алгоритмов системы информационной поддержки для реакторных установок, выводимых из эксплуатации (Г.В. Колибас , к.т.н. А.О. Толоконский)	28
Моделирование системы автоматического регулирования транспортной энергетической установки (Д.А. Корчагин)	29
Декомпозиция алгоритма интеллектуального управления техническим объектом на слои в многоуровневой компьютерной модели (к.т.н. М.И. Кочергин).....	30
Использование искусственного интеллекта в системе поддержки принятия решений при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов (к.т.н. А.А. Болотов, к.м.н. Е.Н. Жирнов, д.м.н. В.Г. Барчуков, А.С. Галузин, к.ф.-м.н. В.П. Крючков, И.К. Теснов, к.б.н. К.А. Чижов, Д.А. Кудинова)	31

Декомпозированный фильтр Калмана в задаче навигации космического аппарата (И.М. Марков , к.т.н. И.В. Соловьев, к.т.н. М.А. Шатский).....	32
О флуктуационном способе контроля мощности ядерных установок (В.А. Федоров, Е.С. Мартазов , А.С. Астафьев, Ю.А. Парышкин, к.ф.-м.н. Т.М. Кормилицын, В.А. Воробьев)	33
Оценка результативности управления процессом обучения для уровневой учебной дисциплины (Н.В. Бударегин, О.Н. Густун, Ю.К. Лавдина, Э.И. Масягутов)	34
Проверка функционирования элементов систем физической защиты (д.т.н. А.В. Измайлов, И.Н. Махоткин).....	35
Применение аналитических тренажеров для наладки автоматических регуляторов энергоблоков АЭС (Д.С. Менюк).....	36
Развитие технического проекта системы сбора данных и управления диагностики «Активная Спектроскопия» для установки ИТЭР (Н.В. Нагорный , А.В. Кудрявцев, Е.Ю. Миронова, Ю.А. Парышкин, В.М. Нестеренко, Т.В. Арбузова, Н.М. Комаров, В.Е. Мельников, С.С. Портоне, к.т.н. А.О. Толоконский).....	37
Методы предиктивной аналитики параметров физико-химических систем для прогнозирования и моделирования химических и физических свойств материалов системы высоковольтной электрической изоляции (Е.П. Новоева , д.т.н. А.В. Соковишин, к.т.н. Р.Е. Невский, к.т.н. И.А. Крючков).....	38
Интеграция задачи ведения журнала АСУ ТП в верхний уровень АСУП (Ю.В. Осетров , к.т.н. В.О. Лебедев)	39
Калибровка информационно-избыточного гироскопа космического аппарата в полёте (А.С. Пивоваров , к.т.н. И.В. Соловьев, к.т.н. М.А. Шатский)	40

Разработка и исследование системы автоматического преодоления препятствий мобильного робота (Д.С. Попов)	41
Система мониторинга состояния контейнеров в хранилище (к.т.н. М.М. Ивойлова, Н.С. Корнев, к.т.н. А.В. Назаров, А.С. Прахов, А.С. Салов , Е.А. Смирнова).....	42
Реализация алгоритма определения положения лепестков многолепесткового коллиматора по их изображению в реальном времени на прототипе системы технического зрения (Ю.К. Стручков)	43
Разработка новой сборочной конструкции МЭМС датчиков избыточного давления с повышенной механической прочностью и прецизионными характеристиками (к.т.н. М.В. Басов, С.С. Сысоев).....	44
Информационные и управляющие системы для мониторинга климатических и экологических процессов на основе математических моделей углеродной динамики (к.т.н. А.О. Ташкин , к.ф.-м.н. С.П. Семенов).....	45
Разработка системы распознавания и сегментации объектов для видеоконтроля сборки модулей АСУ ТП (Д.Б. Торотенков , Н.А. Куликов).....	46
Калибровка канала контроля нейтронной диагностики ДМНП (В.А. Федоров , Е.С. Мартазов, А.С. Астафьев, к.ф.-м.н. Ю.А. Кащук, В.А. Воробьев).....	47
Применение микроконтроллерной техники в изделиях ТПТС (А.Н. Хлебников , К.М. Аспидов).....	48
Технология цифровых испытаний как составная часть проектирования и создания высокотехнологичных изделий. Актуальные проблемы и задачи (д.ф.-м.н., член-корр. РАН Р.М. Шагалиев).....	49

Программный комплекс управления измерительным экспериментом и первичной обработки данных диагностики ионосферы и ионосферных коротковолновых радиолоний (к.т.н. А.О. Щирый)	50
Программный комплекс для автоматизированного измерения характеристик высокочувствительных сейсмоприёмников (П.М. Уткин, А.Ю. Эльтеков , к.т.н. Г.С. Засимов)	51
Расширенная многоузловая модель ВВЭР-1200 для синтеза систем автоматического регулирования с учётом борного регулирования (Я.О. Якубов , С.С. Правосуд)	52

Секция

«Киберфизическое, электрофизическое и ядерное приборостроение»53

Нейтронно-радиационный метод определения концентрации бора
в водном растворе
(**М.И. Бабич**, И.В. Урупа) 54

Особенности применения полупроводниковой дозиметрии
в полях реакторного излучения
(**И.В. Бутин**, А.В. Бутин) 55

Сравнительный анализ результатов измерения дозовых характеристик,
полученных с помощью спектрометра-дозиметра UNSD-15 Mobile
и различными типами дозиметров, используемых в РФЯЦ-ВНИИЭФ
(к.т.н. Е. Ю. Тарасова, М.А. Калмыков, **Д.Р. Воробьева**, Э.А. Гуменных,
к.ф.-м.н. А.А. Кайгородов, С.С. Клоков, Д.С. Уткин, С.В. Финогеев) 56

О структуре функции отклика детектора с алмазным чувствительным
элементом при регистрации ДТ-нейтронов
(к.ф.-м.н. **В.В. Гаганов**, А.В. Долгополов, И.С. Вершинин)..... 57

Основные решения по обеспечению технологической независимости
приборов дозиметрического контроля
(**В.Г. Голубев**, В.А. Кишев, А.А. Иванов)..... 58

Результаты внедрения инженерно-экономического подхода
при разработке оборудования радиационного контроля
(к.ю.н. Д.Ю. Байдаров, **А.С. Гордеев**, А.А. Иванов,
д.т.н. С.Б. Чебышов, д.т.н. И.И. Черкашин) 59

Влияние современных требований по оценке соответствия продукции
на сроки и стоимость реализации проектов создания и ввода в действие
систем и оборудования АСУ ТП АЭС
(к.ю.н. Д.Ю. Байдаров, **А.С. Гордеев**, А.А. Иванов,
д.т.н. С.Б. Чебышов, д.т.н. И.И. Черкашин) 60

Исследование физико-химических характеристик материала на основе модифицированной полисульфоном эпоксидной смолы с латентным отвердителем (А.М. Десяцкова , Д.А. Нечаева, к.т.н. И.А. Крючков, к.т.н. Р.Е. Невский, д.т.н. А.В. Соковишин).....	61
Система быстрого вывода пучков высокозарядных ионов из источников «КРИОН» (А.Ю. Бойцов, Е.А. Бутенко, к.ф.-м.н. Е.Е. Донец, М.Г. Дзугаев , Н.А. Малышев, Е.С. Матюханов, А.Ю. Рамздорф, Д.Н. Рассадов, Д.О. Понкин).....	62
Оценка возможности использования GEANT4 для моделирования источника DT-нейтронов (А.В. Долгополов , Р.Ф. Ибрагимов, к.ф.-м.н. В.В. Гаганов).....	63
Исследование гашения дуги в источнике ионов вакуумной нейтронной трубки в зависимости от параметров разряда в электрической схеме излучателя нейтронов (Н.А. Драченков , В.М. Ермаков, Р.И. Бутов).....	64
Экспериментальная отработка устройства снижения ударного воздействия на объект при торможении в уловителе на ударном стенде (В.Б. Еремин , Ю.А. Пятаков).....	65
Разделение различных видов излучения с помощью пластиковых сцинтилляторов (С.Б. Журба , В.А. Кишев).....	66
Температурные режимы камер инерциального электростатического удержания плазмы (Е.Д. Зяблицева , И.А. Прокуратов)	67
Прибор для измерения выхода нейтронов импульсных источников излучения (М.Ю. Мишин, А.П. Денисенко, Р.Ф. Ибрагимов , к.ф.-м.н. Е.В. Рябева, к.т.н. Ю.В. Михайлов, В.П. Тарасов)	68

Оптимизация технических решений в оборудовании АСРК при сохранении базовых показателей назначения продукции (А.А. Иванов , д.т.н. С.Б. Чебышов, А.С. Гордеев, В.А. Кишев, М.Д. Дерябина, В.Г. Голубев, А.В. Редкоус, Е.М. Ветошкин, А.А. Бобер).....	69
Опыт разработки установок для измерения объёмной активности аэрозолей, ИРГ и йода-131 (А.А. Иванов , А.А. Бобер, Д.А. Бексалиев, М.В. Карабанов, В.А. Кишев, Н.В. Томилин, С.В. Ильин, А.С. Зотов).....	70
Многоканальная волоконно-оптическая система передачи субнаносекундных аналоговых сигналов на основе внешней модуляции (П.В. Кальцын , К.Е. Коротков, Ю.Д. Арапов, Я.А. Кокорев)	71
Модернизация алгоритмов обработки аппаратурных спектров в задачах непрерывного контроля объёмной активности радиоактивных аэрозолей (В.А. Кишев , В.Г. Голубев, С.Б. Журба, П.И. Солодских)	72
Варианты оптических схем лазерной коммутации малогабаритных вакуумных разрядников (д.т.н. А.Ф. Коваленко)	73
Разработка математической модели профилометра для верификации распределения потока нейтронов от генератора на меченых нейтронах (И.Д. Колбин , к.ф.-м.н. С.В. Колесников, к.ф.-м.н. Н.В. Бойко, И.С. Левцов, А.С. Колесников)	74
Использование детектора на основе сцинтиллятора $ZnS + {}^6Li$ для контроля потока тепловых нейтронов, сформированного с помощью импульсного нейтронного генератора (к.ф.-м.н. С.В. Колесников , к.ф.-м.н. В.Ф. Батяев, к.ф.-м.н. Н.В. Бойко, С.Г. Рудаков, О.В. Чакилев)	75
Определение пробегов протонов в воде расчётными способами и экспериментальными методами (К.А. Кольцов , к.т.н. А.В. Берлянд).....	76

Измерение характеристик нейтронных полей (α, n) и D-T источников спектрометром Боннера (В.А. Кугавда , А.П. Денисенко, к.ф.-м.н. Е.В. Рябева)	77
Сегнетоэлектрические температурно-активированные катоды с высокой плотностью тока (к.ф.-м.н. Д.В. Кузенко)	78
Расчётно-теоретическая методика моделирования процессов в источнике Пеннинга (д.ф.-м.н. С.Е. Куратов)	79
Перспективное использование методов искусственного интеллекта в производственной деятельности ФГУП «ВНИИА» (д.ф.-м.н. С.Е. Куратов)	80
Стенд для верификации угловых распределений плотностей потоков меченых нейтронов от генератора нейтронов ИНГ-27 (И.С. Левцов , к.ф.-м.н. С.В. Колесников, Е.Э. Лупарь, М.Ю. Мишин)	81
Перспективная ядерно-физическая аппаратура для изучения ближнего космоса (д.ф.-м.н. М.Л. Литвак , д.т.н. Ю.Н. Бармаков, д.ф.-м.н. В.И. Зверев, д.ф.-м.н. И.Г. Митрофанов, д.т.н. Д.И. Юрков)	82
Исследование параметров радиографического контроля гамма-дефектоскопической аппаратуры переносного класса (А.А. Лукьянов , д.т.н. С.П. Масленников, к.т.н. А.С. Декопов, С.В. Михайлов)	83
Повышение коэффициента экстракции ионов из источника Пеннинга миниатюрного линейного ускорителя (А.Е. Колобов, И.М. Мамедов , д.т.н. С.П. Масленников)	84
Использование вакуумных коммутаторов с лазерным управлением в мощной импульсной технике (к.т.н. С.Г. Давыдов, А.А. Матвеев , к.т.н. В.О. Ревазов, к.т.н. В.П. Селезнев, М.С. Скоробогатых, к.т.н. Р.Х. Якубов)	85

Аспекты обработки термолюминесцентных данных при считывании детекторов в системах ИДК (И.В. Мосягина , О.В. Ивкина, С.В. Козлов)	86
Определение углерода в почве методом меченых нейтронов (к.ф.-м.н. В.Ю. Алексахин, Е.А. Разинков , Ю.Н. Рогов, д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников)	87
Конвейерный сепаратор железной руды на основе метода меченых нейтронов (к.ф.-м.н. В.Ю. Алексахин, И.К. Комаров, Е.А. Разинков, Ю.Н. Рогов , д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников, к.ф.-м.н. И.Е. Чириков-Зорин)	88
Пикосекундный электронно-оптический диссектор для диагностики синхротронного излучения (к.т.н. П.И. Коновалов, к.т.н. А.Ю. Соколов, к.т.н. Р.Б. Сейфетдинов, Я.Г. Рыбальченко)	89
Повышение качества характеристик спектра γ -излучения, измеряемого ксеноновым γ -спектрометром, при воздействии акустической нагрузки (д.ф.-м.н. С.Е. Улин, д.т.н. А.П. Елохин, А.Е. Шустов, Н.М. Свешников)	90
Схемотехническое моделирование драйвера лазерных диодов на нормально открытых нитрид-галлиевых транзисторах (А.П. Скрипник , д.ф.-м.н. Э.Я. Школьников, д.т.н. Н.И. Каргин)	91
Автоматизированная система ионно-плазменной обработки газонаполненных нейтронных трубок (Ю.Г. Трифонова)	92
Определение оптимальных зондовых расстояний сцинтилляционных детекторов малогабаритной аппаратуры импульсного нейтронного гамма-спектрометрического каротажа АИНК-50С (В.А. Цыденова , С.И. Копылов, А.П. Кошелев)	93
Определение редкоземельных элементов в водных растворах с помощью нейтронно-радиационного метода (О.В. Чакилев , к.ф.-м.н. С.В. Колесников, С.Г. Рудаков)	94

Определение квантовой эффективности детектора с пластмассовым сцинтиллятором (С.А. Черышов , А.В. Калущкий, к.ф.-м.н. В.В. Гаганов)	95
---	----

Математическая модель формирователя импульсов ускоряющего напряжения для вакуумной нейтронной трубки (С.Н. Шмелев , Р.И. Бутов, д.т.н. С.П. Масленников, к.т.н. А.К. Дулатов).....	96
--	----



Секция
« Информационно-измерительные
и управляющие системы »

Председатель секции –

Кишкин Владимир Львович,

доктор технических наук,
заведующий кафедрой №2 ИФТИС НИЯУ МИФИ,
первый заместитель главного конструктора –
начальник научно-производственного комплекса
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»

Разработка системы обнаружения серийных номеров для видеоконтроля сборки модулей АСУ ТП

А.М. Асанов, Н.А. Куликов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В ходе работы реализованы методы определения текста на изображении и формирования обучающей выборки для модели нейронной сети. Проведён сравнительный анализ реализованных методов. Разработана система формирования обучающих данных, использующая различные методы и подходы для улучшения процесса обучения модели нейронной сети.

Человеческий фактор влияет на качество контроля сборки производственных изделий, что приводит к нежелательным последствиям при их использовании. Автоматизация этого процесса позволяет повысить точность и эффективность производства. Для реализации автоматизированного контроля сборки АСУ ТП необходимо классифицировать изделия и проверять их серийные номера с помощью системы технического зрения.

В ходе работы была реализована система обнаружения серийных номеров с использованием нейронной сети. Производительность и точность нейросетевых моделей зависят от тренировочных данных. Для реализации поставленной задачи необходима большая выборка изображений с информацией о местоположении серийных номеров на изображении. Создание такой выборки вручную – трудоёмкий процесс, требующий значительных ресурсов. Поэтому в рамках данной работы реализована система обучения модели с итеративным полуавтоматическим наращиванием набора данных из небольшого количества изображений, размеченных человеком.

Процесс работы системы состоит из нескольких этапов. Сначала человек размечает небольшое количество изображений. Затем генератор синтетических данных использует размеченные изображения и их описание для создания новых изображений. Что включает в себя перенос серийных номеров на другие объекты, создание нового текста и его размещение. На следующем этапе проводится обучение модели. После этого модель применяется для полуавтоматической разметки большого объёма данных, при этом человек проверяет и корректирует разметку. На заключительном этапе повторяются процессы генерации данных и обучения модели, чтобы получить окончательную версию обучающей выборки и модели нейронной сети.

Для реализации предложенной системы был проведён сравнительный анализ сформированных наборов данных на разных архитектурах нейронных сетей. И проведены экспериментальные исследования работы системы обнаружения серийных номеров в составе интеллектуальной системы видеоконтроля модулей АСУ ТП, которые продемонстрировали эффективную работу модели, обученной с использованием предложенных методов.

Разработка и исследование системы определения типа подстилающей поверхности для мобильного робота по данным СТЗ

А.А. Белолипецкий

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В докладе рассмотрены результаты разработки системы определения типов поверхностей на трёхмерной карте рабочего пространства для мобильного робота. В ходе выполнения работ проведён анализ методов сегментации изображения и построения карты пространства, проведена калибровка датчиков и разработано ПО для комплексирования данных и отображения классов объектов в пространстве.

Мобильная робототехника на сегодняшний день находит всё большее применение в отраслях, где вмешательство человека может быть сопряжено с рисками, например, ликвидация чрезвычайных ситуаций. Аварийно-спасательные роботы должны обладать высокой степенью автономности и способностью работать в недетерминированных средах. Разработка методов построения карты местности и локализации становится актуальной задачей.

В ходе работы был проведён анализ методов обработки изображений. Посредством анализа было принято решение об исполь-

зовании методов машинного обучения и семантической сегментации для разбиения изображений на фрагменты, соответствующие различным объектам. Выбрана архитектура нейронной сети DeeplabV3plus для работы семантической сегментации. Проведены тесты с предобученной моделью.

Разработано ПО для комплексирования данных, и проведена калибровка лидара относительно камеры. Реализовано наложение сегментированных классов на карту местности, и проведено экспериментальное исследование с использованием системы в составе мобильного робота.

Список литературы:

1. Семантическая сегментация изображений в проекте «Duckietown». – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/semanticheskaya-segmentatsiya-izobrazheniy-v-proekte-duckietown> (дата обращения: 5.10.2024). – Текст: электронный.
2. Многослойные карты проходимости для обеспечения автоматизации управления движением наземных мобильных платформ / Р.Ю. Добрецов, В.А. Соколова, С.И. Затенко.

Выбор параметров и коэффициентов для прогнозирования радиационно-индуцированных сбоев в вычислительных устройствах

Г.М. Блохин

МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Доклад посвящён выбору параметров и коэффициентов для прогнозирования радиационно-индуцированных сбоев в вычислительных устройствах летательных аппаратов. Прогнозирование отказов вычислительных устройств в условиях космической радиации представляет собой важный аспект повышения надёжности летательных аппаратов. Для создания эффективных моделей необходимо определить параметры, которые отражают как характер воздействия радиации, так и стойкость используемых компонентов. Эти параметры позволяют не только описать текущую надёжность системы, но и прогнозировать возможные сбои при различных условиях эксплуатации.

Важными характеристиками радиационного воздействия являются интенсивность излучения, накопленное влияние на компоненты системы и кратковременные мощные импульсы, которые могут вызывать критические сбои. Например, совокупное время нахождения на орбите и уровень радиационного фона, который зависит от высоты орбиты, условий солнечной активности. Кратковременные импульсные воздействия, вызванные солнечными вспышками, требуют дополнительных параметров для учёта их интенсивности и длительности.

Чувствительность компонентов системы определяется свойствами материалов и архитектурой элементов. Для оценки устойчивости необходимо учитывать, как материалы реагируют на накопленные эффекты и импульсные воздействия. Это позволяет выделить параметры, которые влияют на

вероятность одиночных сбоев и множественных отказов. Например, плотность размещения ячеек памяти существенно увеличивает вероятность множественных сбоев при радиационном воздействии.

Связь между параметрами формирует основу для комплексного прогнозирования. Интенсивность радиации определяет накопленное воздействие, что, в свою очередь, влияет на вероятность сбоев. Импульсные эффекты создают кратковременные риски, модифицирующие общую вероятность отказа системы. Комплексный учёт этих факторов позволяет не только оценивать риски, но и адаптировать системы управления к изменяющимся условиям полёта.

Предложенная система анализа и выбора параметров предоставляет инструмент для проектирования отказоустойчивых систем управления.

Программный комплекс для расчёта и анализа данных переноса – накопления радионуклидов трития и углерода-14 в технологических системах водо-водяных энергетических реакторов

к.т.н. **А.А. Болотов**, д.м.н. В.Г. Барчуков, А.С. Галузин, П.П. Сурин,
к.т.н. О.А. Кочетков, Н.А. Еремина

ФГБУ «ГНЦ РФ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России – Москва, Россия

В настоящее время обращению с биогенными радионуклидами, такими как Н-3 и С-14, образующимися при работе реакторных установок (РУ), уделяется особое внимание как в Российской Федерации, так и за рубежом. При эксплуатации водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) образуется порядка 10^{14} Бк/ГВт в год Н-3, а выход С-14 оценивается в 10^{12} Бк/ГВт в год. Специалистами ФГБУ «ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России разработана имитационная модель и на её основе – методика накопления и распространения Н-3 и С-14 в технологических системах ВВЭР. Для обеспечения детального расчёта активности Н-3 и С-14 в технологических средах ВВЭР разработано ПО, основанное на методике – вычислительный модуль под названием «Одуванчик».

Основные неизменные характеристики оборудования и параметров технологических сред ВВЭР, а также динамика водообмена первого контура и системы очистки теплоносителя первого контура при работе энергоблока на мощности (в течение 17 месяцев) и в режиме останова определены в виде исходных данных (констант). Изменяемые исходные параметры для расчёта задаются в текстовом файле-задании и содержат данные по объёмам водообмена первого контура и системы КВФ в течение 17 месяцев, объёмам дебалансных вод, объёмов вод из систем очистки КВФ, КРФ в баки дистиллята, теплоносителя, борного концентрата и др. Активность Н-3 и С-14 в технологических средах ВВЭР рассчитывается на основе набора рекуррентных формул (в соответствии с методикой) с временным периодом 1 месяц. Алгоритм ПО вычислительного

модуля был построен таким образом, чтобы в точности и без ошибок воссоздать модель, описываемую в методике. Отслеживание состояний параметров реализовано через экземпляры специальных классов. В ПО реализован дополнительный функционал, такой как детальное хранение всех состояний всех параметров модели в каждой итерации моделируемого периода, соответствующих началу, концу и за весь период каждой итерации расчёта. Такой подход дал возможность детального анализа протекания процессов в модели и отладки самой модели. Модуль расчёта обеспечивает вычисление активности и объёмной активности во всех технологических элементах ВВЭР, включая первый контур, воду второго контура, во всех объектах баковой системы, сбросе и выбросе. ПО реализовано на языке Java для обеспечения кроссплатформенности.

Проект концепции создания и регламента функционирования информационно-аналитической системы мониторинга радиационных рисков на территориях, обслуживаемых ФМБА России

Ю.Н. Брагин, к.м.н. А.Е. Колышкин, к.ф.-м.н. В.П. Крючков,
к.б.н. А.Г. Цовьянов, В.Е. Журавлева

ФГБУ «ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России – Москва, Россия

Предложен проект концепции создания и регламента функционирования информационно-аналитической системы мониторинга радиационных рисков на территориях, обслуживаемых ФМБА России. Приведены цели и задачи, структура, основные направления и регламент функционирования информационно-аналитической системы.

На основе выполненной корректировки концепции радиационного мониторинга с введением индикаторов и критериев радиационного риска (РР), отражающих состояние защищённости персонала и населения на обслуживаемых ФМБА России территориях от негативного воздействия радиационных факторов, а также состояние готовности медицинских подразделений и формирований ФМБА России к ликвидации последствий радиационной аварии либо инцидента [1], предложен проект концепции создания и регламента функционирования информационно-аналитической системы мониторинга радиационных рисков (ИАСМРР) на территориях, обслуживаемых ФМБА России.

В концепции ИАСМРР определены основные цели, задачи, принципы построения и функционирования ИАСМРР ФМБА России.

Деятельность ИАСМРР направлена на осуществление информационной поддержки при реализации функций и полномочий ФМБА России по профилактике рисков причинения вреда охраняемым законом ценностям при осуществлении федерального государственного санитарно-эпидемиологического контроля на основе «риск-ориентированного подхода».

Проект регламента функционирования ИАСМРР охватывает все возможные направления взаимодействия создаваемой системы как между её центральным и территориальным уровнями, так и с уже существующими федеральными системами.

Список литературы:

1. Формирование индикаторов и критериев радиационных рисков для радиационного мониторинга на территориях, обслуживаемых ФМБА России / Ю.Н. Брагин, А.Е. Колышкин, В.П. Крючков, В.Е. Журавлева, А.Г. Цовьянов // III Научно-практическая конференция «Физико-технические интеллектуальные системы» (ФТИС-2024): Сборник тезисов. – Тамбов: ООО «Издательство Юлис», 2024. – С. 22.

Программно-аппаратная реализация цифровых измерителей параметров полупроводниковых детекторов, используемых для «on-line»-дозиметрии в полях реакторного излучения

И.В. Бутин, **А.В. Бутин**

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Предложена схема оптимизации электрического режима полупроводниковых детекторов, используемых для многоточечного оперативного контроля радиационной нагрузки в полях статического гамма-нейтронного излучения реакторных установок, за счёт применения программируемого цифрового измерителя.

При испытаниях аппаратуры автоматики в полях статического гамма-нейтронного излучения реакторных установок актуальной становится задача мониторинга радиационной обстановки в процессе облучения, что обеспечивается применением в качестве детекторов полупроводниковых приборов – биполярных транзисторов, и р-канальных МОП-транзисторов из состава КМОП ИС, изменение электрических характеристик которых вызвано реакторным излучением.

Авторами предложена новая схема подключения полупроводниковых детекторов, не требующая стабилизации токового режима:

- эмиттеры биполярных транзисторов (детекторов флюенса быстрых нейтронов) подключаются к общей шине, выводы базы и коллектора через резисторы соединяются с шиной питания, а измеряемым параметром является напряжение на коллекторе каждого транзистора;

- выводы питания всех КМОП ИС с р-канальными транзисторами в выходных каскадах подключаются к одному источнику опорного напряжения, а общий вывод

каждой КМОП ИС через программируемый коммутатор поочередно соединяется с общей шиной. Измеряемым параметром является напряжение на общей нагрузке, по изменению которого оценивается значение поглощённой дозы.

При определении флюенса быстрых нейтронов и дозовой нагрузки используются результаты калибровки детекторов в полях эталонных источников – установок с изотопным источником ^{60}Co и реакторов типа БАРС, а также установленные соотношения, связывающие значения измеряемых параметров с характеристиками поля излучения в точках расположения детекторов.

В предложенной схеме включения исключается применение источников тока и сокращается количество линий связи, что позволяет более простым способом получить подробную информацию о достигнутых уровнях облучения в местах расположения детекторов непосредственно в ходе испытаний. Программно-аппаратная реализация разработанного цифрового измерителя обеспечивает предварительную обработку результатов измерений.

Импорт программ проверки электрического монтажа между автоматизированными измерительными системами контроля

Е.С. Воробьева

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В докладе представлены методы и процесс разработки программного средства импорта, преобразующего программы проверки электрического монтажа систем 560R15S в программную среду стандов ТЕСТ-9110.

В процессе изготовления продукции её контроль является необходимым условием проверки качества. Проверка качества монтажа электронной аппаратуры на соответствие требованиям нормативной документации проводится различными методами – визуальным, электрическим и функциональным. Одним из способов проверки электрического монтажа электронной аппаратуры является автоматизированный контроль электромонтажа, реализуемый автоматизированными измерительными системами контроля. Рассматриваемые в работе автоматизированные измерительные системы содержат совокупность технических средств, характеризующихся общим комплексом нормированных метрологических характеристик об объекте измерений контроля. Специализированное программное обеспечение на языке программирования системы позволяет описывать различные алгоритмы проверки объекта контроля. В процессе перехода от старого оборудования к новому возникает потребность в дублировании ранее написанных программ проверки объектов контроля. Ввиду эффективности применения автоматизированных измерительных систем для проверки мон-

тажа сложных объектов переписывание ранее созданных программ контроля под новые комплексы является очень трудозатратой процедурой. Целью исследования является составление методики реализации программного продукта для импорта программ системы 560R15S фирмы «Link Test Electronics» в программы стандов ТЕСТ-9110 холдинга «Информтест».

В связи с поставленной целью в ходе исследования решаются следующие задачи: анализируются особенности синтаксиса систем 560R15S и ТЕСТ-9110, разрабатываются методы перевода программ проверок между системами.

Для решения поставленных задач рассмотрены особенности программ проверки электрического монтажа автоматизированных стандов контроля 560R15S и ТЕСТ-9110 и их синтаксиса, составлены методики перевода списков связей объектов контроля с системой, операторов задания значений параметров измерения и операторов измерений, на базе которых разработана программа LINKtoTECT.exe. В результате работы поставленная цель исследования достигнута. Проведена апробация программного продукта, LINKtoTECT.exe принят в работу.

Цифровизация в медицине на примере службы лучевой диагностики г. Москвы

Ю.В. Дружинина, З.А. Лантух, И.В. Солдатов

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий
Департамента здравоохранения г. Москвы – Москва, Россия

Данная работа посвящена программному обеспечению (ПО), которое применяется в медицинских организациях (МО) Департамента здравоохранения города Москвы, этапам его разработки и внедрения.

В ходе работы была оценена необходимость и потребность в системе автоматизированного сбора, анализа и персонифицированного учёта лучевых нагрузок пациентов, для чего был проведён анализ существующих на рынке ПО мониторинга доз, апробация их технологических решений. По итогам данной работы были сформированы требования к программному обеспечению мониторинга дозовой нагрузки пациента.

В реализованном ПО «Мониторинг доз» представлены данные о медицинском учреждении, виде исследования (тип и подтип), аппарате, фамилия и инициалы рентгенолаборанта и врача-рентгенолога, проводившего и описавшего исследование, идентификационные номера документов, значения плановой и фактической дозовых нагрузках (мЗв). С его помощью появилась возможность проведения анализа дозовой нагрузки пациентов в зависимости от модели аппарата, вида исследования и анатомической области, выявления случаев получения высокой дозовой нагрузки пациентам, а также возможность оценки коллективной дозы пациентов в зависимости от типа рентгенорадиологической процедуры. ПО «Мониторинг доз» даёт возможность проводить аудит работы медицинской органи-

зации в сфере радиационной безопасности, включая работу медицинского персонала службы лучевой диагностики. С его помощью были установлены референтные диагностические уровни для ряда модальностей, которые являются важным элементом процесса оптимизации лучевой нагрузки.

Использование программного обеспечения существенно сокращает риск ошибки, основанной на человеческом факторе, помогает автоматизировать ряд рутинных процессов, что сокращает риски выгорания медицинского персонала и позволяет оказывать больше внимания пациентам, а не заполнению бумажных форм. Все в целом данные факторы повышают эффективность работы отделения лучевой диагностики и качество предоставляемых медицинской организацией услуг.

Список литературы:

1. М.П. Шатёнок, С.А. Рыжов и др. // Медицинская физика. – 2021. – № 89. – С. 61–63.
2. З. А. Лантух, М.П. Шатёнок и др. // Радиационная гигиена. – 2023. – № 16. – С. 67–80.
3. Е.Н. Соколов, З.А. Лантух и др. // ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ». – 2020. – № 90. – 22 с.
4. <https://3doz.telemedai.ru/calculator/ct/?age=%3E17&diameter=32-sm&body-part=grudnaya>.

Энергоэффективность процессоров для длительных космических экспедиций

Р.С. Дыбов

МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В условиях современных космических исследований и длительных экспедиций к удалённым объектам Солнечной системы, энергоэффективность процессоров становится одним из ключевых факторов, определяющих успешность выполнения задач. Данный доклад посвящён анализу современных архитектур процессоров и методов повышения их энергоэффективности. В докладе рассматриваются архитектуры, такие как ARM и RISC-V, а также специализированные решения (FPGA и ASIC), которые демонстрируют значительные преимущества в снижении энергопотребления.

Разработки в области новых архитектур и методологий управления энергией критически важны для обеспечения надёжной работы космических систем в условиях ограниченных ресурсов и сложной среды. Современные процессоры, используемые в космических миссиях, должны обладать высокой радиационной стойкостью и эффективностью потребления энергии. Архитектуры типа ARM, RISC-V и специализированные решения (FPGA, ASIC) демонстрируют значительное сокращение потребления энергии благодаря оптимизированным вычислительным возможностям. Подходы к повышению энергоэффективности включают динамическое управление частотой и напряжением (ДВЧМ), алгоритмы распределения нагрузки и адаптивные системы, которые изменяют свою работу в зависимости от

текущих потребностей и условий. Цель состоит в том, чтобы экономить энергию в период снижения вычислительной нагрузки и/или при использовании аккумулятора. Применение многопоточных и распределённых вычислений также позволяет снизить уровень нагрузки на процессоры. Приводятся сравнительные характеристики применяемых отечественных МК для космических аппаратов на предприятии. В докладе показано использование методов динамического масштабирования частоты и динамического масштабирования напряжения, которые обеспечивают системе автоматическую адаптацию на уровень потребляемой энергии в реальном времени с соответствием с требованиями нагрузки. Внедрение ДНМ в сочетании с ДЧМ может снизить потребление энергии на 25 %.

Список литературы:

1. Ivan Aleks, Tomislav Matic et al. // Dynamic Voltage and Frequency Scaling as a Method for Reducing Energy Consumption in Ultra-Low-Power Embedded Systems. 2024. Electronics № 13. P. 1–18.
2. Paul Leys // Radiation-hardened processors for space. Avnet Silica. 2022.

Структура автоматического регулятора реакторной установки со свинцовым теплоносителем для вывода из подкритического состояния

С.В. Епифанов, к.т.н. А.О. Толоконский

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В процессе разработки автоматического регулятора для вывода реактора со свинцовым теплоносителем из подкритического состояния потребовалось изменить его конфигурацию. Выполненные испытания после изменения конфигурации регулятора позволили подтвердить достижимость результатов.

В настоящее время создаётся современный реактор на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем поколения IV. В рамках проекта разработаны алгоритмы управления нейтронным потоком в активной зоне реактора на этапе выхода из подкритического состояния на минимальный энергетический уровень, а также автоматические регуляторы поддержания уровня нейтронной мощности на промежуточном уровне и поддержание параметров реакторной установки и второго контура, включая передачу сигналов между турбиной и АСУ ТП РУ [1]. Однако эти регуляторы не участвуют в алгоритмах включения и выключения технологического оборудования в рамках регулирования на всём уровне мощности.

Разрабатываемый алгоритм управления включает автоматическое управление тех-

нологическим оборудованием совместно с уже имеющимися штатными алгоритмами регуляторов, описанных выше, добавляя уровень автоматизации.

В процессе проектирования АСУ ТП РУ была изменена структура связей между логическими и исполнительными стойками, что потребовало перенести алгоритм из логической аппаратуры в многофункциональные контроллеры управления. Обновлённый вариант алгоритма совместного управления автоматическими регуляторами и технологическим оборудованием отрабатывается с использованием математической модели КСУЗ РУ БРЕСТ-ОД-300 как ТОУ [2]. Полученные результаты показывают, что новая структура алгоритма позволяет реализовать все поставленные задачи на необходимом уровне.

Список литературы:

1. Епифанов, С.В. Особенности автоматического регулятора мощности РУ со свинцовым теплоносителем / С.В. Епифанов, Г.В. Колибас, А.О. Толоконский // Физико-технические интеллектуальные системы (ФТИС-2023): Сборник тезисов II Научно-практической конференции, Москва, 07–09 февраля 2023 года / EDN JXUITC. – Тамбов: ООО «Издательство Юлис», 2023. – С. 23.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661540 Российская Федерация. Модель КСУЗ РУ БРЕСТ-ОД-300 для интегральной расчетной математической модели энергоблока. Версия 1.0 / П.Н. Быковский, Н.С. Зубов, А.В. Малыгин, [и др.]; заявитель Российская Федерация.

Результаты экспериментальных работ по регистрации непрерывных радиотехнических данных в ОНЧ-НЧ диапазонах

к.т.н. О.А. Герасимчук, к.т.н. Г.С. Засимов,
к.т.н. **Б.П. Знаменщиков**, к.т.н. А.М. Пищимов
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Приведены результаты экспериментальных работ по регистрации непрерывных радиотехнических данных в ОНЧ-НЧ диапазонах шестикомпонентной радиотехнической станцией. Целью работ был сбор данных для уточнения алгоритмов обработки непрерывной радиотехнической информации. Регистрация проводилась как на измерительных установках, так и в полевых условиях, в том числе в условиях близкой грозы. Проведённые работы подтвердили возможность непрерывной регистрации радиотехнической информации.

В настоящее время мониторинг ядерных испытаний радиотехническими средствами осуществляется цифровыми станциями регистрации, обеспечивающими приём трёх компонент сигнала ЭМИ (E_z , H_x , H_y) с использованием пороговых устройств обнаружения сигналов. Дискретность обнаружения сигналов приводит к их пропуску за счёт ограниченной разрешающей способности аппаратуры регистрации. В геофизических методах, сейсмическом и инфразвуковом, эта проблема решается за счёт регистрации и обработки непрерывного потока данных. В радиотехническом методе контроля до последнего времени обработка непрерывных данных не применялась из-за высокой частоты квантования.

Для проведения экспериментальных работ был разработан и изготовлен макет радиотехнической станции, обеспечивающей непрерывную регистрацию и обработку шести компонент сигналов электромагнитного излучения (E_z , E_x , E_y , H_z , H_x , H_y). Переход к шестикомпонентной регистрации сигнала

лов ЭМИ позволяет снизить поляризационные ошибки пеленгования источников и внедрить новые методы селекции сигналов.

Целью экспериментальных работ был сбор экспериментальных данных для уточнения алгоритмов обработки непрерывной радиотехнической информации. Экспериментальные работы проводились в два этапа. На первом этапе проводилась оценка частотных характеристик каналов регистрации, коэффициентов калибровки антенн, инструментальных погрешностей пеленгования и определения амплитуды сигналов. На втором этапе проводился сбор экспериментальных данных в полевых условиях.

Полученные экспериментальные результаты позволили получить непрерывную запись шести компонент электромагнитного поля в условиях дальних и ближних гроз и исследовать процессы, протекающие в молниевом разряде. Была подтверждена возможность создания радиотехнической станции нового поколения и определены её характеристики.

Температурные исследования конструкторских решений по построению безвентиляторной стойки электропитания ТПТС

В.М. Зуев, А.В. Козлов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В докладе рассматриваются вопросы поиска наиболее эффективного конструкторского решения по построению стойки электропитания безвентиляторного исполнения посредством натурных исследований температурных режимов её работы для встроенной аппаратуры в требуемых условиях окружающей среды.

Стойка питания ТПТС52.2320 (далее – СП) применяется в АСУ ТП для обеспечения электропитанием аппаратуры ТПТС производства ФГУП «ВНИИА» на объектах атомной и тепловой энергетики, а также нефтяной промышленности. СП предназначена для преобразования напряжения питания 220 В постоянного тока и (или) 230 В переменного тока в напряжение постоянно-го тока с номинальным значением 24,7 В. Суммарная выходная мощность СП составляет не более 6 000 Вт.

Фактором, сдерживающим в настоящее время более широкое применение СП и влияющим также на её надёжность, является использующееся в ней принудительное охлаждение посредством вентиляторов. Проведённый расчёт надёжности СП и анализ неисправностей на объектах эксплуатации СП показал, что исключение из состава СП блока вентиляторов позволит избавиться от акустического шума, значительно повысить показатели надёжности СП.

Целью работы является выбор наиболее эффективного конструкторского решения, позволяющего поддерживать работоспособность заданного встроенного оборудова-

ния СП в требуемых условиях окружающей среды без применения принудительного охлаждения.

В качестве метода достижения поставленной задачи выбран метод натурных исследований макетов СП.

В ходе проведённых работ из базового комплекта аппаратуры СП путём его различного конфигурирования было изготовлено и исследовано более 40 макетов СП. Рассмотрены различные способы расположения блоков питания внутри СП, как компонентов с наибольшим тепловыделением, а также способы отвода излишнего тепла от них. Проведена оптимизация наполнения СП и модернизация модулей диагностики и управления, входящих в состав СП. Выполнен расчёт показателей надёжности СП безвентиляторного исполнения.

По результатам проделанной работы разработана конструкторская документация стойки питания безвентиляторного исполнения, изготавливается опытный образец СП для типовых испытаний на климатические и механические внешние воздействующие факторы и ЭМС.

Структура алгоритмов системы информационной поддержки для реакторных установок, выводимых из эксплуатации

Г.В. Колибас, к.т.н. А.О. Толоконский

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В работе рассмотрены принципы построения системы информационной поддержки для реакторов, выводимых из эксплуатации. Приведено описание структуры алгоритмов системы. Рассмотрен подход к построению структуры алгоритмов, указаны функции, имеющие важность их исполнения, для учёта при построении системы информационной поддержки.

Ввиду окончания срока эксплуатации, начиная с 2021 года, окончательно остановлен ряд энергоблоков АЭС первого поколения. Реакторы были штатно заглушены в соответствии с технологическими регламентами, энергоблоки отключены от единой энергосистемы. При этом к остановленным реакторам применяются те же требования, что и к реакторам, находящимся в эксплуатации. То есть сохраняются требования о контроле и аварийной защите реактора по нейтронным и технологическим параметрам вплоть до полной выгрузки топлива из активной зоны реактора. С учётом того, что по мере выгрузки топлива уровень нейтронного потока в реакторе уменьшается, то системы управления и защиты в штатном составе становятся избыточны. Для обеспечения работоспособности штатных систем контроля и защиты требуются значительные ресурсы.

Для уменьшения затрат предлагается разработать единообразный подход в виде системы информационной поддержки, которая позволила бы осуществлять функции

контроля и защиты реактора, используя меньшее количество оборудования по сравнению со штатными системами, при этом соответствуя всем нормам и правилам, действующим в атомной энергетике.

В качестве функций, которые являются важными для исполнения, выступают функции нормальной эксплуатации и функции безопасности. В состав функций нормальной эксплуатации входят: контроль и регистрация информации о нейтронной мощности реактора и его подкритичности, контроль технологических параметров, контроль положения и управление стержнями аварийной защиты, контроль неисправностей в системах. В состав функций безопасности входят: автоматическое или инициируемое оператором заглушение (аварийная защита) реактора, инициируемое оператором формирование режима, при котором производится обесточивание муфт сервоприводов и введение в активную зону всех стержней аварийной защиты под действием силы тяжести.

Моделирование системы автоматического регулирования транспортной энергетической установки

Д.А. Корчагин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Моделирование функционирования системы автоматического регулирования (САР) транспортной энергетической установки позволяет улучшить характеристики управления и повысить надёжность работы установки в динамических режимах. В статье рассмотрено создание математической модели САР, проведение моделирования алгоритмов, а также представлены результаты анализа устойчивости системы.

Современные транспортные энергетические установки требуют эффективных САР, способных эффективно стабилизировать параметры при внешних возмущениях и изменении эксплуатационных режимов. Традиционные методы проектирования таких систем не всегда учитывают сложность взаимодействий внутри установки. Моделирование предоставляет возможность тестировать алгоритмы управления до их внедрения.

Автоматическое регулирование является одним из ключевых аспектов в работе энергетических установок. Для обеспечения стабильной и безаварийной работы в условиях изменяющейся нагрузки требуется разработка высокоточного автоматического регулятора. Настройка регулятора определяет точность, устойчивость и качество работы всей системы, поэтому выбор подходящих параметров регулятора имеет критическое значение.

Целью работы является моделирование работы системы автоматического регулирования в различных режимах функционирования установки.

В ходе проведения работы в САПР «SimInTech» была разработана упрощённая математическая модель объекта управления, датчиков, исполнительных механизмов. Была произведена настройка регулятора с учётом показателей быстродействия и надёжности, проведено моделирование работы системы автоматического регулирования в переходных процессах. Получены графики изменения нейтронных и технологических параметров.

Разработанная модель позволяет исследовать динамическое поведение САР и исследовать различные алгоритмы управления. На дальнейших этапах разработки будет создана полная математическая модель объекта управления. Разработанная САР будет иметь практическое применение на реальных энергетических установках.

Декомпозиция алгоритма интеллектуального управления техническим объектом на слои в многоуровневой компьютерной модели

к.т.н. **М.И. Кочергин**

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники – Томск, Россия

В работе предлагается декомпозиция логического уровня многоуровневой компьютерной модели на слои для выделения изолированных функциональных алгоритмических компонентных цепей: для расчёта отклика модели в разных режимах работы, обучения систем интеллектуального управления, обработки данных и прогнозирования, создания иерархических систем управления.

Метод многоуровневых компонентных цепей [1] предполагает декомпозицию компьютерной модели системы на уровни: визуальный – для интерактивного управления моделью и визуализации результатов моделирования, логический – для моделирования дискретного поведения исследуемой системы и математической обработки результатов вычислительного эксперимента, объектный – для моделирования непрерывного поведения исследуемой системы.

Предлагается декомпонировать логический уровень на слои для функционального разделения компонентных цепей, отвечающих за обучение интеллектуальной системы управления (ИСУ) на базе нейронных сетей [2] или систем нечёткого логического вывода, расчёт отклика ИСУ в стационарном режиме работы, расчёт отклика ИСУ в

специальных режимах работы, для создания переключательных систем управления на базе диаграмм состояний [3], создания сценариев обработки данных (например, для прогнозирования состояния исследуемой системы с применением регрессионных моделей).

Такая декомпозиция позволит строить иерархические ИСУ для управления сложными системами, состоящими из множества подсистем с учётом их взаимного влияния. Tактический уровень управления системой позволит переключаться с одной системы управления на другую в зависимости от состояния системы и внешней среды, а стратегический – определять цель управления системой и корректировать работу нижних уровней управления.

Список литературы:

1. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Кочергин М.И. Матрично-топологический анализ компонентных цепей // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – № 62. – С. 25–35.
2. Кочергин М.И. Интерпретация нейронных сетей в метод многоуровневых компонентных цепей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23. – № 6. – С. 1162–1170.
3. Kochergin M.I. Interpretation of the statechart diagram into a multilevel simulation language // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20. – № 4. – С. 122–125. DOI: 10.21293/1818-0442-2017-20-4-122-125.

Использование искусственного интеллекта в системе поддержки принятия решений при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов

к.т.н. А.А. Болотов, к.м.н. Е.Н. Жирнов, д.м.н. В.Г. Барчуков, А.С. Галузин,
к.ф.-м.н. В.П. Крючков, И.К. Теснов, к.б.н. К.А. Чижов, **Д.А. Кудинова**
ФГБУ «ГНЦ РФ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России – Москва, Россия

С каждым годом увеличивается число объектов, подлежащих выводу из эксплуатации вследствие их физического износа и морального устаревания, что повышает риски для окружающей среды и здоровья людей. В этом процессе ключевое значение имеют радиационно-гигиенические аспекты, такие как контроль уровней радиации, оценка дозовых нагрузок на персонал и население, а также управление рисками радиоактивного загрязнения. Эти вопросы регулируются сложной системой нормативных актов, руководящих документов и стандартов, что требует комплексного подхода к обеспечению радиационной безопасности. Эффективная работа с документацией играет важнейшую роль в защите здоровья работников и населения, а также в достижении успешных результатов вывода из эксплуатации, соответствующих установленным стандартам. Использование современных информационных технологий, таких как системы поддержки принятия решений (СППР), основанных на искусственном интеллекте (ИИ) и анализе данных, может значительно повысить эффективность управления безопасностью.

Целью данной работы была разработка программного сервиса, построенного на основе ИИ, способного поддерживать полноценный и осознанный диалог по вопросам вывода из эксплуатации (ВЭ) радиационно опасного объекта (РОО).

Для решения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: выбрать языковую модель (NLP) и алгоритмы машинного обучения, собрать и подготовить данные (Dataset) для последующего обучения модели ИИ, обучить выбранную модель и оценить её точность работы, создать прототип приложения для ответов на возникающие при ВЭ РОО вопросы. Для создания сервиса, способного поддерживать полноценный и осознанный диалог по вопросам ВЭ РОО, была выбрана языковая

модель на основе библиотеки с открытым исходным кодом Keras, что позволило эффективно адаптировать её под наши специфические данные и требования. Такой подход позволяет создать языковую модель с «нуля» со своим словарём, настраивать её параметры (в т.ч. параметры нейросети: число слоёв, количество входов-выходов слоёв, критерии точности, потерь и др.), предоставляет возможность использования текстовой, графической, аудио- и видеoinформации в качестве ответа на текстовый запрос пользователей, обеспечивает прямой доступ к нужному фрагменту текста из нормативных документов. При этом обучение модели осуществляется быстро даже на «офисных» компьютерах.

Декомпозированный фильтр Калмана в задаче навигации космического аппарата

И.М. Марков, к.т.н. И.В. Соловьев, к.т.н. М.А. Шатский

МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Рассмотрена задача оценки параметров движения космического аппарата (КА) по информации аппаратуры спутниковой навигации (АСН). Предложен способ декомпозиции оптимального фильтра Калмана шестого порядка на три субоптимальных декомпозированных фильтра второго порядка, позволяющий существенно сократить вычислительную сложность алгоритмов практически без потери точности.

Оценка параметров движения центра масс космического аппарата осуществляется путём комплексной обработки информации АСН и бортового баллистического прогноза. Существующие методы решения задачи основаны на использовании фильтра Калмана для оценки трёх координат и трёх составляющих вектора скорости в инерциальной системе координат. Численная реализация соответствующего алгоритма на бортовом вычислителе требует значительных вычислительных затрат. В настоящем докладе предлагается способ декомпозиции фильтра шестого порядка на три фильтра второго порядка, что позволяет существенно сократить вычислительные затраты практически без потери точности решения задачи навигации.

Векторы состояния декомпозированных фильтров второго порядка включают в себя координаты и составляющие вектора скорости КА по каждой из трёх осей

инерциальной системы координат, векторы измерений – соответствующие параметры, выдаваемые АСН. При этом слагаемые, выражающие перекрёстные связи между тремя измерительными каналами, формируются по оценкам декомпозированных фильтров, соответствующих другим каналам, и рассматриваются как известные управления.

Таким образом, в докладе рассмотрена задача комплексной обработки информации бортового баллистического прогноза и АСН и предложен метод декомпозиции оптимального фильтра Калмана шестого порядка на три фильтра второго порядка. Ковариационный анализ точности декомпозированного алгоритма показал, что при его использовании потери точности оценок координат и составляющих вектора скорости аппарата по сравнению с оптимальным алгоритмом пренебрежимо малы, что доказывает состоятельность предложенного подхода.

О флуктуационном способе контроля мощности ядерных установок

В.А. Федоров ¹, **Е.С. Мартазов** ¹, А.С. Астафьев ¹, Ю.А. Парышкин ¹,
к.ф.-м.н. Т.М. Кормилицын ², В.А. Воробьев ²

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия;

² Частное учреждение ГК «Росатом» «Проектный центр ИТЭР» – Москва, Россия

Флуктуационный способ применяют для построения широкодиапазонного канала контроля плотности потока нейтронов и мощности ядерных и термоядерных установок с использованием одной ионизационной камеры деления (ИКД). Рассматриваются особенности способа, его реализация в системе сбора данных нейтронной диагностики ИТЭР. Приводятся результаты моделирования канала контроля, основанного на флуктуационном способе с определением центральных моментов случайного сигнала ИКД третьего и четвёртого порядков.

Флуктуационный (в зарубежной литературе – «Кэмпбэлловский») способ контроля основан на прямо пропорциональной зависимости между средней скоростью делений в радиаторе ИКД (пропорциональна плотности потока нейтронов) и контролируемой выборочной дисперсией сигнала ИКД на выходе линейного измерительного преобразователя. Коэффициент пропорциональности зависит от среднего значения квадрата заряда в импульсе тока ИКД, усреднённой нормированной формы импульса на выходе и параметров амплитудно-частотной характеристики преобразователя. Такой способ контроля реализован в системе сбора данных нейтронной диагностики ИТЭР «Диверторный монитор нейтронного потока» (ДМНП). Приводится структура канала контроля, его характеристики, результаты измерений на нейтронном стенде и исследовательских ядерных установках.

При значительных уровнях гамма-излучения, действующего на ИКД, флуктуационный способ с измерением дисперсии (момента второго порядка) имеет ограничение по нижней границе диапазона контроля, связанное с большим значением дисперсии шума. Существенно снизить влияние шума позволяет флуктуационный способ с определением центральных моментов случайного сигнала ИКД высших (третьего и четвёртого) порядков. С помощью цифровой модели канала, а также экспериментальных данных, полученных на нейтронном стенде, проверены характеристики (диапазон контроля, погрешности измерений, относительный статистический шум) данных способов обработки сигнала ИКД.

Работа выполнена при финансовой поддержке Частного учреждения «Проектный центр ИТЭР» в рамках договора № 17706413348240000190/23-24/01 от 14.05.2024 г.

Оценка результативности управления процессом обучения для уровневой учебной дисциплины

Н.В. Бударагин, О.Н. Густун, Ю.К. Лавдина, **Э.И. Масягутов**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В процессе обучения по уровневой дисциплине «Информатика» в НИЯУ МИФИ студенты осваивают учебный материал на двух уровнях: основном и углублённом. При этом с помощью информационно-образовательной среды осуществляется адаптивное управление процессом обучения, при котором варьируются как параметры, так и структура учебного контента в зависимости от динамики учебных достижений обучаемого.

В качестве ключевой характеристики эффективности процесса обучения, проводимого по такой методике, используется оценка результативности управления, которую можно получить на основе анализа средних оценок учебных достижений студентов по уровням обучения, имея количественные характеристики сложности и объёма учебных материалов на обоих уровнях.

Решение о переводе студентов с уровня на уровень принимается на внешнем контуре управления в определённые моменты обучения на основе анализа текущих результатов обучения с учётом индивидуальных образовательных траекторий. При таких переводах изменяется структура учебного контента, а его параметры (сложность, трудоёмкость, объём) варьируются на внутреннем контуре управления, когда действия обучаемого подвергаются детальному мониторингу и диагностике.

Сравнение средних оценок учебных достижений на разных уровнях обучения

позволяет как оценить результативность управленческих решений, так и выявить факторы, влияющие на её снижение. К числу таких факторов относятся, во-первых, наличие студентов, для которых перевод между уровнями не принёс ожидаемого результата. И во-вторых, существование непереуспевающих студентов, которые с высокой долей вероятности могли бы повысить результативность обучения при условии перевода на другой уровень. Влияние обоих этих факторов на эффективность уровневого обучения оценивается количественно.

В результате анализа данных, полученных для 70-ти студентов Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ, прошедших обучение по информатике в течение четырёх семестров 2021–2023 гг., результативность управления процессом обучения для уровневой дисциплины повышается на 18% по сравнению с традиционным обучением без разделения на уровни.

Проверка функционирования элементов систем физической защиты

д.т.н. А.В. Измайлов, **И.Н. Махоткин**

АО «ФЦНИВТ «СНПО» «Элерон» – Москва, Россия

В докладе рассмотрена важная и актуальная задача повышения точности и достоверности результатов оценки эффективности систем физической защиты (СФЗ) ядерных и радиационно опасных объектов (ЯРОО). Приведены возможные источники неточностей тактико-технических характеристик (ТТХ) элементов СФЗ, используемых в процессе оценки её эффективности. Проанализированы пути повышения точности указанных характеристик и выделены задачи, решение которых может быть использовано при разработке соответствующей методики, основанной на проведении периодических проверок элементов СФЗ при их функционировании непосредственно на ЯРОО.

В настоящее время задача повышения защищённости ядерных и других радиоактивных материалов и соответствующих объектов становится всё более актуальной. Для предотвращения враждебных действий и защиты критически важных объектов создаются и внедряются системы физической защиты (СФЗ) [1, 2]. Для оценки результативности их функционирования разработаны методы оценки эффективности СФЗ [3–6].

Точность и достоверность оценки показателей эффективности СФЗ, полученной аналитическими методами или с помощью компьютерного моделирования, существенно зависит от точности и достоверности исходных данных, в которые входит информация об охраняемом объекте и его системе физической защиты. Однако реальные характеристики могут отличаться от заявленных в технической и нормативной документации в силу множества причин, поэтому реальные показатели эффективности СФЗ могут быть ниже расчётных.

Одним из путей решения данной проблемы является введение контроля характеристик элементов и подсистем СФЗ непосредственно на объекте.

В рамках этого решения можно выделить несколько задач, наиболее перспективными из которых являются:

1. Анализ эффективности СФЗ на предмет чувствительности к снижению ТТХ её элементов и подсистем и определение ключевых элементов системы, подлежащих проверке;

2. Анализ и определение методов и критериев проверки отдельных элементов, подсистем и системы в целом и обоснование необходимого числа испытаний.

Решение указанных задач может лечь в основу методики, направленной на повышение точности и достоверности оценки эффективности СФЗ.

Отмечается, что подобный подход применяется и за рубежом [7].

Список литературы:

1. Об использовании атомной энергии: Федеральный Закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ.
2. Основы учёта, контроля и физической защиты ядерных материалов: Учебное пособие / Под ред. Э.Ф. Крючкова. – М.: МИФИ, 2007. – 544 с.
3. Методические рекомендации, по оценке эффективности систем физической защиты ядерных объектов. – М.: АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон», 2015. – 93 с.
4. Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и установок INFCIRC/225/Revision 5 (NSS-13), МАГАТЭ, 2011 г.
5. Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся радиоактивных материалов и связанных с ними установок (NSS-14), МАГАТЭ, 2011 г.
6. Руководство пользователя программой «Вега-2» оценки эффективности систем физической защиты особо важных объектов: СТО ИФМА.491-2005. – М.: АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон», 2005 г. – 96 с.: илл.
7. Evans, A. Nuclear Power Plant Physical Protection Recommendation Document / A. Evans, D. Abell, C. Byrum – Alexandria, VA: Sandia National Laboratories, August 2022 – p. 196.

Применение аналитических тренажёров для наладки автоматических регуляторов энергоблоков АЭС

Д.С. Менюк

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Пусконаладка нового энергоблока – многогранная и непростая научно-техническая и инженерная задача. С ней связан ряд особенностей, которые, главным образом, выражаются в подготовке и опробовании большого количества разнообразного оборудования, ответственного за технологические процессы во время эксплуатации энергоблока, наладку большого перечня сложных устройств и систем, специальной автоматики и контрольно-измерительных средств, которые необходимы для соблюдения требований и стандартов безопасности, связанных с эксплуатацией АЭС. Наладка автоматизированных средств управления – один из ключевых этапов всего процесса пусконаладки энергоблока. В данной работе предложен метод, который может облегчить настройку регуляторов при помощи данных, полученных с аналитического тренажёра, который создаётся индивидуально под каждый энергоблок и учитывает его особенности.

Несмотря на обширность существующих методик синтеза параметров, в настройке ПИД-регуляторов по-прежнему имеются проблемы, т.к. алгоритмы данных регуляторов в достаточной степени развиты лишь для линейных систем. Для данных систем характерно представление объектов управления в виде моделей первого и второго порядка с задержкой. Однако существуют системы управления, в которых предъявляются высокие требования к качеству регулирования.

Одной из таких систем являются энергоблоки АЭС. Параметры автоматических регуляторов АЭС после конструкторских расчётов синтезируются в процессе наладки блоков. Предлагается синтезировать параметры автоматических регуляторов с ис-

пользованием аналитических тренажёров (АТ), которые являются математическими моделями, реализованными на программно-технических комплексах. АТ даёт возможность проводить различные исследования физики реакторной установки, а также работы технологического оборудования соответствующего блока. Предлагается разработать соответствующие алгоритмы настроек параметров регуляторов и соответствующее программное обеспечение, реализующее их.

Работа выполнена при финансовой поддержке Частного учреждения «Проектный центр ИТЭР» в рамках договора № 17706413348230000070/09-23/01 от 06.04.2023 г.

Список литературы:

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.

Развитие технического проекта системы сбора данных и управления диагностики «Активная Спектроскопия» для установки ИТЭР

Н.В. Нагорный¹, А.В. Кудрявцев², Е.Ю. Миронова¹, Ю.А. Парышкин²,
В.М. Нестеренко¹, Т.В. Арбузова¹, Н.М. Комаров², В.Е. Мельников¹,
С.С. Портоне¹, к.т.н. А.О. Толоконский²

¹ Частное учреждение ГК «Росатом» «Проектный центр ИТЭР» – Москва, Россия;

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Рассматриваются результаты разработки технического проекта системы сбора данных и управления диагностики «Активная Спектроскопия» для проекта ИТЭР в соответствии с утверждёнными ИТЭР требованиями и документами.

Диагностическая система «Активная Спектроскопия» измеряет профиль ионной температуры плазмы в токамаке ИТЭР, скорость её тороидального и полоидального вращения, концентрацию лёгких примесей и некоторые другие параметры по анализу спектров оптического излучения, которое возникает во время инжекции в плазму диагностического пучка атомов водорода. Основные оптические компоненты для сбора излучения расположены в третьем экваториальном порту установки ИТЭР. Полученный оптический сигнал передаётся по оптоволоконным жгутам на спектрометры и далее – в систему сбора данных и управления.

Для выполнения возложенных функций в состав системы включены вспомогательные подсистемы, такие как подсистема очистки первого зеркала, подсистема управления шторкой первого зеркала, подсистема нагрева оптоволоконного жгута, подсистема оптической калибровки, подсистема позиционирования оптоволоконного жгута и подсистема синхронизации запуска сбора данных.

В настоящее время технический проект системы проходит доработку для предстоящей защиты финального проекта системы в Международной Организации ИТЭР. В докладе рассматриваются процедурное описание работы системы и функциональный анализ, включающие как аспекты нормальной эксплуатации системы, её обслуживания, тестирования и настройки, так и алгоритмы для расчёта измерительных параметров плазмы. Обсуждается аппаратная архитектура системы, включая детали подключения оборудования к системе питания и его распределение по шкафам управления, а также программная архитектура и связь с центральной системой управления ИТЭР.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта № Н.4а.241.19.24.1024 от 20.03.2024 «Разработка, опытное изготовление, испытание и подготовка к поставке специального оборудования в обеспечение выполнения российских обязательств по проекту ИТЭР в 2024 году».

Методы предиктивной аналитики параметров физико-химических систем для прогнозирования и моделирования химических и физических свойств материалов системы высоковольтной электрической изоляции

Е.П. Новаева, д.т.н. А.В. Соковишин, к.т.н. Р.Е. Невский, к.т.н. И.А. Крючков
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В работе рассмотрены современные подходы к анализу интерпретации параметров физико-химических систем с использованием инструментов предиктивной аналитики. Основное внимание уделяется методам обработки данных с использованием нейронных сетей и больших языковых моделей, которые позволяют предсказывать ключевые свойства изоляционных материалов, включая их устойчивость к различным эксплуатационным условиям и воздействию внешних факторов. Также рассмотрены примеры успешного применения нейронных сетей в промышленности, что позволяет сделать выводы о перспективах их использования для улучшения надёжности и эффективности электрической изоляции.

Разработка современных материалов с заданными свойствами для применения электрической высоковольтной изоляции позволит при сохранении существующих эксплуатационных характеристик высоковольтных блоков существенно уменьшить их массогабаритные характеристики.

Для разработки таких материалов важным этапом является сбор и анализ данных. Современные методы обработки данных позволяют упростить данный этап, предсказывая свойства материала без физического эксперимента.

Целью данной работы является разработка метода обработки параметров ди-

электрических материалов для возможности дальнейшего прогнозирования и моделирования диэлектрических и физико-химических свойств материалов высоковольтной электрической изоляции без физического эксперимента.

В работе рассмотрены современные подходы к анализу интерпретации параметров физико-химических систем с использованием инструментов предиктивной аналитики, а также продемонстрирована значимость предиктивной аналитики как инструмента для оптимизации материалов и прогнозирования их поведения в реальных условиях эксплуатации.

Интеграция задачи ведения журнала АСУ ТП в верхний уровень АСУП

Ю.В. Осетров, к.т.н. В.О. Лебедев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В данной работе рассмотрены особенности и возможности интеграции задачи подсистемы ведения журнала АСУ ТП в верхний иерархический уровень АСУП.

Автоматизированная система управления производством представляет собой сложную иерархически управляемую систему, состоящую из коллектива работников аппарата управления, комплекса технических средств, различных методик и инструментов, носителей данных. Как всякая сложная система, АСУП подразделяется на подсистемы, органическое взаимодействие которых при реализации задач управления обеспечивает достижение основной цели – оптимизации принятия решения.

Программа предоставляет пользователю следующие основные функции:

- добавление новых событий (задач), подзадач и распараллеленных задач;
- представление перечня задач в иерархическом виде;
- изменение статуса задач, назначение ответственных лиц и иных атрибутов;
- планирование – настройка правил автоматического изменения статуса задачи;
- ведение истории изменений статуса и атрибутов задачи;
- прикрепление к задаче изображений, документов, файлов, сигналов БД и задачи расчёта технико-экономических показателей;
- выдача на печать перечня задач и истории их изменений;
- установка основных параметров функционирования программы.

Для сопряжения подсистемы ведения журнала АСУП с АСУ ТП в подсистеме используется пул дискретных сигналов. Каждой создаваемой задаче на весь её жизненный цикл назначается набор дискретных сигналов из пула, в количестве пяти сигналов. Во время работы подсистемы в эти сигналы записывается следующая информация: номер задачи, тип задачи, статус задачи, ответственное лицо за исполнение задачи.

Данные сигналы могут быть использованы, в частности, для отображения краткой информации о задачах журнала на мнемосхемах подсистемы отображения или для отслеживания изменения статуса задачи через общие инструменты работы с архивными данными АСУ ТТП. Помимо этого, если у задачи задан атрибут, разрешающий изменение статуса «извне» – внешними задачами, то возможно управление статусом задачи журнала путём изменения значения назначенного дискретного сигнала. После завершения задачи назначенные ей дискретные сигналы «открепляются» и могут быть назначены следующей вновь создаваемой задаче. Создание новой задачи возможно несколькими способами, в зависимости от того, какого вида задача создаётся.

Калибровка информационно-избыточного гиросприбора космического аппарата в полёте

А.С. Пивоваров, к.т.н. И.В. Соловьев, к.т.н. М.А. Шатский

МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Представлены результаты астрокалибровки систематических погрешностей информационно-избыточного гироскопического измерителя вектора угловой скорости (ГИВУС) космического аппарата (КА). Исходная телеметрическая информация, содержащая показания четырёх измерительных каналов ГИВУС и двух астродатчиков, формируется при выполнении КА калибровочных манёвров. Результаты астрокалибровки, полученные тремя независимыми методами, оказались близки между собой. Скорректированные паспортные параметры ГИВУС обеспечили снижение ошибок оценок погрешностей.

Систематические погрешности ГИВУС определяются в результате заводской калибровки прибора. Однако под действием возмущающих факторов, действующих в процессе выведения КА на орбиту, значения систематических погрешностей ГИВУС отклоняются от паспортных. Возникает задача повторной калибровки прибора, которая решается путём наземной комплексной постобработки информации ИК ГИВУС и астродатчиков. Полученные значения калибровочных параметров передаются на борт.

В предлагаемом докладе излагается методика полётной астрокалибровки информационно-избыточного ГИВУС и её результаты.

ГИВУС – это информационно-избыточный прибор, содержащий четыре ИК. Калибровочная модель содержит 16 параметров: 4 смещения нулевых сигналов («дрейфов») ИК, 4 масштабных коэффициента ИК, 8 углов перекосов осей чувствительности

ИК относительно номинальных положений. В режиме астрокалибровки производились калибровочные манёвры КА, при этом в составе телеметрической информации на Землю передавались «сырые» измерения ИК и кватернионы ориентации, выдаваемые двумя астродатчиками. Требовалось на основании полученных данных оценить значения калибровочных параметров прибора. Поставленная задача решалась тремя независимыми методами: два метода с применением фильтра Калмана и метод с использованием статического метода наименьших квадратов.

Результаты показывают, что перекосы осей чувствительности ИК после выведения отклоняются от паспортных значений, что выражается в дополнительных дрейфах измерительных каналов. Коррекция паспортных параметров гиросприбора по результатам полётной калибровки позволила уменьшить оценки дрейфов.

Список литературы:

1. И.В. Соловьев, Н.В. Рябогин. Метод полётной калибровки резервированного гироскопического измерителя вектора угловой скорости космического аппарата // Авиакосмическое приборостроение. – 2016. – № 3.

Разработка и исследование системы автоматического преодоления препятствий мобильного робота

Д.С. Попов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты разработки алгоритма повышения проходимости гусеничного робота с шасси изменяемой геометрии для работы в условиях пересеченной местности. Алгоритм направлен на улучшение способности робота преодолевать сложные препятствия и адаптироваться к различным типам рельефа, минимизируя риск застревания и потери устойчивости.

В рамках работы проведен аналитический обзор существующих методов управления гусеничными роботами. Особое внимание уделено методам прогнозирования конфигурации робота, основанным на геометрическом анализе контактных точек и использовании нелинейного программирования для оптимизации положения робота относительно рельефа.

Метод, показанный в работе [1], демонстрирует высокую эффективность в обеспечении адаптации робота к пересеченной местности благодаря использованию геометрического анализа и прогнозирования движений флипперов.

Целью исследования является разработка эффективного алгоритма управления движением гусеничного робота с изменяемой геометрией шасси. Для достижения цели использованы программные инструменты

ROS2 и Gazebo, а визуализация результатов выполнена с использованием RViz2. Основу алгоритма составляют методы прогнозирования конфигурации и динамического программирования для выбора оптимальной траектории движения.

В ходе работы разработан алгоритм, который учитывает условия устойчивости и профильные ограничения местности. Планируется анализ успешности прохождения препятствий, скорости выполнения маневров и отказоустойчивости системы управления. Проведено моделирование работы в симуляторе Gazebo. Планируется проведение экспериментальных исследований на опытном образце РТК.

Разработанный алгоритм позволит повысить автономность и эффективность робота, обеспечивая надежное передвижение в условиях пересеченной местности.

Список литературы:

1. Chen, B., Huang, K., Pan, H., Chen, X., Xiao, J., Wu, W., & Lu, H. (2023). Geometry-based flipper motion planning for articulated tracked robots traversing rough terrain in real-time. *Journal of Field Robotics*, 40(5), 10.1002 / rob.22236.

Система мониторинга состояния контейнеров в хранилище

к.т.н. М.М. Ивойлова, Н.С. Корнев, к.т.н. А.В. Назаров, А.С. Прахов,
А.С. Салов, Е.А. Смирнова

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

Представлена радиочастотная система дистанционного мониторинга состояния защитных контейнеров в хранилище. Показана техническая реализация системы на основе транспондеров, обеспечивающих передачу информации о совокупности воздействующих факторов в момент проведения опроса.

В работе представлена система дистанционного мониторинга состояния контейнеров в хранилище. Показана техническая реализация системы на основе транспондеров, обеспечивающих в момент проведения опроса передачу информации о идентификационном номере контейнера, а также о совокупности воздействовавших на него факторов перегрузки и вскрытия крышки контейнера.

Мониторинг контейнеров включает в себя две взаимосвязанные задачи. Первая задача заключается в учете и контроле сохранности (наличия) контейнеров в процессе хранения. Вторая задача связана с контролем состояния содержимого контейнеров (превышение заданного порогового значения перегрузки, фиксирование факта вскрытия крышки контейнера). Особую значимость имеет мониторинг при возникновении нештатных ситуаций, поскольку вскрытие упаковки может быть невозможным из-за соображений обеспечения безопасности обслуживающего персонала

и личного состава аварийно-технических формирований. В таких случаях важна не только оперативность и высокая производительность процессов идентификации, но и обеспечение возможности дистанционной регистрации воздействующих факторов. Актуальная информация о величинах фактически воздействовавших физических нагрузок позволит оценить реальное состояние изделия. Кроме этого, организация мониторинга опасных материалов может являться одним из аспектов борьбы против их несанкционированного использования.

В данной работе представлена информация о разработанном облике радиочастотной системы дистанционного мониторинга объектов, находящихся на длительном хранении, с возможностью контроля идентификационного номера объекта, факта превышения порогового значения перегрузки, действовавшей на контейнер, и факта несанкционированного вскрытия крышки контейнера.

Реализация алгоритма определения положения лепестков многолепесткового коллиматора по их изображению в реальном времени на прототипе системы технического зрения

Ю.К. Стручков

МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Предложен алгоритм по оценке положений лепестков многолепесткового коллиматора. Представлен прототип системы технического зрения проверки работоспособности предложенного алгоритма. Проведены испытания на макете многолепесткового коллиматора.

Многолепестковый коллиматор (МЛК), как часть комплекса дистанционной лучевой терапии, формирует поля облучения сложной формы, что позволяет подвести предписанную терапевтическую дозу фотонного излучения строго к мишени и минимизировать при этом дозовые нагрузки на близлежащие критические органы и здоровые ткани [1]. МЛК состоит из вольфрамовых пластин (лепестков), которые, занимая определённое положение, формируют облучаемую область.

В современных многолепестковых коллиматорах комплексов от производителей Varian, Elekta, Siemens и Accuray управление лепестками (количество варьируется от 80 до 160) из вольфрамового сплава

реализуется в режиме реального времени с постоянным контролем положения каждого лепестка двумя независимыми системами контроля [1, 2]. Например, в МЛК Elekta Agility [3] в качестве второго независимого контроля позиционирования лепестков применяется система оптического контроля (система технического зрения) [1, 2].

В данной работе предложен алгоритм по определению положений лепестков МЛК. Представлен прототип системы технического зрения (СТЗ) для проверки работоспособности алгоритма. Проведены испытания на макете многолепесткового коллиматора для определения характеристик разработанной системы.

Список литературы:

1. Mayles P., Nahum A., Rosenwald J.C. Handbook of radiotherapy physics. Theory and practice. – Taylor & Francis Group, LCC, 2007.
2. Jeraj Matjaž, Robar Vlado Multileaf collimator in radiotherapy // Radiol Oncol. – 2004. 38(3). P. 235–40.
3. Christopher N. Kabat, Dewayne L. Defoor, Pamela Myers et al. Evaluation of the Elekta Agility MLC performance using high-resolution log files // Medical Physics. – 2018.

Разработка новой сборочной конструкции МЭМС датчиков избыточного давления с повышенной механической прочностью и прецизионными характеристиками

к.т.н. М.В. Басов, **С.С. Сысоев**

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Разработана новая сборочная конструкция чувствительного элемента давления для диапазонов избыточного давления до 25...160 кПа, который может быть применён в составе любого вида корпуса тензомодуля. Представлен спектр преимуществ разработки по увеличению механической прочности и сокращению основных и дополнительных погрешностей относительно применяемого в настоящем аналога серийно выпускаемого тензомодуля.

Во ФГУП «ВНИИА» выпускаются различные виды датчиков давления на тензорезистивном эффекте, предназначенные для систем контроля и управления технологическими процессами в атомной, газовой, нефтяной и химической промышленности. При пусконаладочных работах и аварийных ситуациях у потребителей на датчик может оказываться воздействие критическим давлением от гидро- или пневмоудара, что приводит к разрушению интегрального тензопреобразователя, выполненного в виде микроэлектромеханической системы (МЭМС) из кремния. Дополнительно для повышения конкурентоспособности продукции ФГУП «ВНИИА» в виде датчиков давления стоит задача в сокращении погрешности по целому ряду параметров чувствительных элементов давления собственного производства.

Применение новых конструкторско-технологических решений по созданию механически прочных тензомодулей датчиков

давления для диапазонов избыточного давления до 25...160 кПа с минимально достижимыми погрешностями происходит на основе оптимизации структуры сборочных конструкций чувствительных элементов и процессов их производства. Разработанный новый чувствительный элемент давления в составе любого вида конструкции корпуса тензомодуля позволяет повысить перегрузочную способность до 4,5 МПа при подаче давления с лицевой стороны и до 2,5 МПа при подаче с обратной стороны МЭМС (аналог выдерживает до 0,75 МПа). Дополнительно разработка позволяет сократить основные некомпенсируемые погрешности по температурному гистерезису нулевого сигнала и чувствительности с 0,3 % до 0,2 %, а также дополнительные погрешности по нелинейности с 0,5 % до 0,3 %, по температурному коэффициенту нулевого сигнала с 0,30 %/10°С до 0,25 %/10°С и температурному коэффициенту чувствительности с 3,5 %/10°С до 2,8 %/10°С.

Информационные и управляющие системы для мониторинга климатических и экологических процессов на основе математических моделей углеродной динамики

к.т.н. **А.О. Ташкин**, к.ф.-м.н. С.П. Семенов

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет» – Ханты-Мансийск, Россия

Климатические изменения значительно влияют на углеродный цикл экосистем, особенно болотных экосистем, которые эффективно поглощают CO_2 и накапливают его в торфе. Разработана математическая модель углеродного цикла болот, включающая фитомассу и мормассу. Модель отражает воздействие климатических и гидрологических изменений на углеродный баланс и позволяет прогнозировать, как изменение уровня грунтовых вод и температуры будет влиять на выбросы CO_2 .

Предполагается, что скорость фотосинтеза и дыхательных процессов зависит от температуры, а также учитывается влияние уровня грунтовых вод на скорость разложения органики [1, 2]. Уровень грунтовых вод моделируется с помощью функции насыщения [3], которая отражает переход от аэробных к анаэробным условиям разложения органического вещества в зависимости от уровня воды. Температурные зависимости включают три ключевые точки: минимальную температуру, при которой процессы не протекают, оптимальную температуру, при которой достигается максимальная продуктивность, и максимальную температуру, при которой процессы также прекращаются.

Для решения системы уравнений используется численный метод Рунге-Кутты в среде MATLAB. Параметры модели включают коэффициенты, характеризующие влияние температуры и уровня воды на различные процессы, а также параметры, отвечающие за скорость фотосинтеза, дыхания и разложения органики. Таким образом, модель интегрирует влияние климатических и гидрологических факторов на углеродный цикл растений, обеспечивая описание взаимодействий между фотосинтезом, дыханием, разложением органических веществ и транспортом углерода через грунтовые воды.

Работа выполнена при поддержке РФФИ,
проект № 22-11-20031.

Список литературы:

1. Semenov S.P., Dyukarev E.A., Tashkin A.O. Biogeochemical Carbon Cycles Numerical Modeling in Wetland Ecosystems Lobachevskii Journal of Mathematics, 2023, Vol. 44, No. 3, pp. 1223–1228.
2. Семёнов С.П., Дюкарев Е.А., Ташкин А.О. Математическая модель для расчета динамики углерода в болотных экосистемах холодных регионов Западной Сибири // Математические заметки СВФУ. – Т. 31. – № 1. – С. 102–112. <https://doi.org/10.25587/2411-9326-2024-1-102-115>.
3. Melaku N.D., Wang J., Meshesha T.W. (2022). Modeling the Dynamics of Carbon Dioxide Emission and Ecosystem Exchange Using a Modified SWAT Hydrologic Model in Cold Wetlands. Water. 14(9):1458. <https://doi.org/10.3390/w14091458>.

Разработка системы распознавания и сегментации объектов для видеоконтроля сборки модулей АСУ ТП

Д.Б. Торотенков, Н.А. Куликов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В ходе работы проведён анализ методов сегментации объектов и распознавания текста на изображении. Разработана система генерации синтетических данных для обучения нейросетевых моделей для задач технического зрения. Проведено экспериментальное исследование системы в составе интеллектуальной системы видеоконтроля модулей АСУ ТП.

При сборке стойки АСУ ТП необходим контроль для предотвращения ошибок, связанных с неправильной установкой модулей. Обычно контроль осуществляется людьми. Этот процесс является довольно трудоёмким и не исключает ошибок, что недопустимо во многих отраслях промышленности. Для решения этой проблемы разработана системы автоматизированного видеоконтроля, которая выполняет задачи сегментации и классификации модулей, а также обнаружение и распознавание серийных номеров на модулях. Для каждой из задач был проведён сравнительный анализ существующих методов, в результате которого было принято решение использовать методы, основанные на машинном обучении, в силу их быстродействия и точности.

Однако при использовании нейросетевых моделей важной проблемой является подготовка обучающих данных, зависящих от условий эксплуатации модели. Подготовка обучающей выборки вручную – ресурсо-

ёмкий процесс, требующий большого количества изображений с размеченными на них объектами. Кроме того, для каждой задачи требуется уникальный набор изображений.

Чтобы решить эту проблему, разработано программное обеспечение, которое заменяет ручную разметку на синтетическую генерацию. Для создания обучающей выборки для модели сегментации объектов используется метод генерации синтетических данных на основе 3D-моделей модулей. Для обучения модели распознавания текста применяется генерация изображений с текстом разных компьютерных шрифтов.

В ходе работы был проведён сравнительный анализ нейросетевых моделей для сегментации и распознавания, а также разработаны генераторы тренировочных данных для их обучения. Для данной системы был проведён эксперимент в составе интеллектуальной системы видеоконтроля модулей, который продемонстрировал её эффективность и работоспособность.

Калибровка канала контроля нейтронной диагностики ДМНП

В.А. Федоров¹, Е.С. Мартазов¹, А.С. Астафьев¹,
к.ф.-м.н. Ю.А. Кащук², В.А. Воробьев²

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия;

² Частное учреждение ГК «Росатом» «Проектный центр ИТЭР» – Москва, Россия

Широкодиапазонный канал контроля нейтронного потока, входящий в состав диагностики «Диверторный монитор нейтронного потока» (ДМНП) международного проекта ИТЭР, содержит ионизационную камеру деления (ИКД) и несколько измерительных трактов обработки сигналов, для которых должна быть выполнена взаимная калибровка. Разработаны расчётно-экспериментальные методики, позволяющие определить калибровочные коэффициенты для каждого тракта с использованием источника нейтронов низкой интенсивности.

При условии линейного представления статических характеристик измерительных трактов задача их взаимной калибровки сводится к определению постоянных коэффициентов, на которые нужно умножить выходные сигналы трактов для их приведения к некоторой опорной величине, имеющей единую размерность для всех трактов. В качестве такой величины предложено использовать скорость делений, возникающих в радиаторе ИКД при воздействии нейтронного излучения.

Исходными экспериментальными данными для последующих вычислений калибровочных коэффициентов являются спектры распределения импульсов по амплитудам и зарядам, усреднённая форма импульса или сегментированная запись множества импульсов, зарегистрированные в канале си-

стемы сбора данных (ССД) ДМНП при проведении измерений на нейтронном стенде.

В докладе рассматриваются различные способы калибровки, основанные на использовании как математического моделирования канала контроля с ИКД, так и применении имитатора сигнала ионизационной камеры с натурным образцом канала контроля нейтронного потока.

Разработанные расчётно-экспериментальные методики будут полезны при выполнении калибровки каналов ССД ДМНП от источника нейтронов на установке ИТЭР перед её пуском.

Работа выполнена при финансовой поддержке Частного учреждения «Проектный центр ИТЭР» в рамках договора № 17706413348240000190/23-24/01 от 14.05.2024 г.

Применение микроконтроллерной техники в изделиях ТПТС

А.Н. Хлебников, К.М. Аспидов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В докладе рассмотрен опыт применения микроконтроллерных технологий в комплексах автоматизации ТПТС-НТ и ТПТС-СБ. Проведён анализ преимуществ и недостатков в сравнении с другими типами построения систем автоматизации.

Существуют различные подходы к проектированию оборудования АСУ ТП. С развитием вычислительной техники применение микроконтроллеров стало повсеместным. Использование цифровых технологий и программируемых устройств, таких как микроконтроллеры, позволило получить ряд преимуществ по сравнению с другими архитектурами устройств АСУ ТП: диагностика, надёжность, повышение точности, гибкость разработки. С другой стороны, увеличивается вероятность возникновения отказа по общей причине в результате ошибок в программном обеспечении.

В докладе на примерах рассмотрены два различных подхода к построению функционального узла ввода сигналов термопар и термопреобразователей сопротивления:

одна архитектура построена с применением микроконтроллеров, а вторая – на основе комплексов технических средств непрограммируемой логики, которые являются средством построения устройств на непрограммируемой («жёсткой») логике. Рассмотрены преимущества, недостатки обоих подходов и возможные способы устранения недостатков.

Надёжность работы АСУ ТП является основополагающим критерием при разработке системы, особенно системы безопасности АЭС. Опыт эксплуатации комплексов автоматизации ТПТС-НТ и ТПТС-СБ с использованием в их составе микроконтроллерной техники демонстрирует высокий показатель надёжности, при этом не жертвуя достижениями современной вычислительной техники.

Технология цифровых испытаний как составная часть проектирования и создания высокотехнологичных изделий. Актуальные проблемы и задачи

д.ф.-м.н., член-корр. РАН **Р.М. Шагалиев**

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

В настоящее время имеет место тенденция к значительному расширению областей применения технологий высокопроизводительных вычислений, включая суперкомпьютерное моделирование. Одним из ключевых направлений развития таких технологий являются исследования и разработки, направленные на создание цифровых двойников и технологий цифровых испытаний функционирования сложных технических систем и изделий.

Технология цифровых испытаний основывается на комплексном математическом моделировании режимов функционирования изделий с получением результатов, сопоставимых с натурными (стендовыми) испытаниями. Внедрение данной технологии направлено на сокращение (оптимизацию) числа натурных экспериментов, сокращение временных затрат на разработку и повышение качества работ по проектированию и созданию изделий.

В докладе представлена информация о текущем состоянии развития и внедрения указанных технологий при проектировании и создании высокотехнологичных изделий.

Представлены ключевые цели и актуальные задачи, а также примеры применения технологии цифровых испытаний. Отражено состояние работ по развитию компонент технологии в РФЯЦ-ВНИИЭФ, включая работы по созданию:

- многофункциональной программной платформы Логос с описанием динамики её развития и её специализированных версий;

- нормативно-технической базы (программа стандартизации в области разработки и применения компьютерных моделей и электронных конструкторских документов на изделия военной техники на 2020–2025 годы);

- баз данных верификации и валидации;
- работ по подготовке в вузах и переподготовке в отраслевых центрах специалистов в области цифровых испытаний;

- суперЭВМ на базе отечественных компонентов (компактной суперЭВМ малого класса, линейки масштабируемых суперЭВМ среднего класса производительности универсальной и гетерогенной архитектур);

- отечественных компонент суперЭВМ (коммуникационной системы СМПО, защищённой операционной системы «Ара-мид»),

- а также результаты исследований и разработок в интересах создания вычислительных систем на новых физических принципах.

Программный комплекс управления измерительным экспериментом и первичной обработки данных диагностики ионосферы и ионосферных коротковолновых радиолиний

к.т.н. **А.О. Щирий**^{1,2}

¹ Национальный исследовательский университет «МЭИ» – Москва, Россия;

² ФГБУН «ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова» – Москва, Россия

Представлены основные архитектурные принципы и технические решения, принятые при разработке программной части аппаратно-программного измерительного комплекса оперативной диагностики ионосферы и ионосферных радиолиний. Решены задачи автоматизации самого процесса измерений и регистрации данных, а также задачи извлечения требуемой информации из полученных экспериментальных данных.

По данным радиозондирования ионосферы коротковолновыми (КВ) сигналами можно получить информацию о процессах в ионосферной плазме, о её структуре и состоянии; эти данные также крайне важны для радиотехнических систем, работающих в КВ-диапазоне [1]. В докладе представлены результаты многолетних работ автора по автоматизации процессов измерений и обработки данных диагностики ионосферы и ионосферных радиолиний.

Разработанное программное обеспечение (ПО) состоит из двух частей [2]. Первая – ПО первичной обработки, предназначенной для автоматизации измерений в реальном времени, индикации, регистрации данных и управления аппаратурой радиозондирования, первичной обработки результатов в реальном времени автоматически без не-

посредственного постоянного участия человека. Вторая – ПО вторичной обработки, предназначенное для извлечения самой разнообразной информации из сохранённых данных (например, автоматическое выделение сигнала, вычисление диапазонов ионосферного прохождения КВ, выбор оптимальных рабочих частот и др.), включает возможности для работы с иерархией экспериментальных данных, т.ч. регенерации производных данных, а также пакетной обработки больших массивов данных для исследования их статистических характеристик. Дальнейшее развитие ПО заключается в использовании машинного обучения для обработки получаемых массивов данных и построения статистических предиктивных моделей.

Список литературы:

1. Щирий А.О. Разработка и моделирование алгоритмов автоматического измерения характеристик ионосферных коротковолновых радиолиний: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: СПб гос. ун-т телекоммуникаций им. М.А. Бонч-Бруевича. – СПб., 2007. – 19 с.
2. Щирий А.О. Архитектура программной части аппаратно-программного комплекса дистанционного наземного радиозондирования ионосферы // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2015. – № 18. – С. 144–153.

Программный комплекс для автоматизированного измерения характеристик высокочувствительных сейсмоприёмников

П.М. Уткин, **А.Ю. Эльтеков**, к.т.н. Г.С. Засимов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Приводятся результаты разработки программного комплекса для автоматизации измерений характеристик собственного шума и нелинейных искажений высокочувствительных широкополосных сейсмоприёмников, обеспечивающего автоматизированный выбор первичной информации, её спектрально-корреляционную обработку, статистический анализ результатов обработки и селекцию результатов обработки по установленному критерию с оценкой неопределённости измерений. Приводятся некоторые результаты применения программного комплекса при исследованиях уровня собственного шума и нелинейных искажений сейсмоприёмников в условиях воздействия повышенного сейсмического фона.

Современные методы измерений характеристик собственного шума и нелинейных искажений каналов сейсмоприёмников в условиях повышенного сейсмического фона основаны на длительной регистрации тестовых сигналов и фоновых сейсмических колебаний с последующей спектрально-корреляционной обработкой большого количества зарегистрированных данных (порядка 10^5 отсчётов цифровых записей на один контролируемый канал). Разработанный ФГУП «ВНИИА» программный комплекс выполнен в виде рабочей программы и предназначен для практической реализации указанных методов и сокращения рутинной обработки большого количества данных в части выполнения расчётов, статистического анализа результатов и их селекции по установленным критериям с расчётом неопределённости результатов.

Программный комплекс включает следующие основные блоки:

- блок подготовки исходных данных;
- блок расчёта относительной амплитудно-частотной характеристики канала регистрации по синусоидальным тестовым сигналам на основе метода наименьших квадратов (МНК) и спектрального анализа;
- блок расчёта азимутального угла между осями чувствительности испытуемого сейсмоприёмника (ИС) и контрольного сейсмоприёмника (КС) на основе метода максимальной корреляции;
- блок расчёта среднеквадратического значения собственного шума по данным регистрации ИС и КС на основе метода взаимной компенсации;
- блок расчёта коэффициента нелинейных искажений (коэффициента интермодуляции) КС на основе МНК и спектрального анализа.
- блок формирования отчёта (протокола).

Расширенная многоузловая модель ВВЭР-1200 для синтеза систем автоматического регулирования с учётом борного регулирования

Я.О. Якубов¹, С.С. Правосуд^{1,2}

¹ Северский Технологический Институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» – Северск, Россия;

² АНО ДПО «Техническая академия Росатома» – Обнинск, Россия

В данной работе предложены и проанализированы различные многоузловые модели реактора ВВЭР-1200, состоящие из двух и до двадцати аксиальных узлов, комбинирующие многоточечную кинетику подхода Эйвери с расширенной теплогидравлической моделью Р. Манна, а также охваченные обратной связью по ксенону для исследования пространственных ксеноновых колебаний, учитывающие явную модель органов регулирования СУЗ. Также представлена многоузловая модель борной кислоты, использующая подход Р. Манна «two well-stirred tanks in series» и влияющая последовательно на реактивность в аксиальных узлах. Моделирование проводилось в MATLAB Simulink, и все модели написаны на языке MATLAB как S-functions lv. 2.

Традиционно при синтезе систем автоматического регулирования мощности различных динамических режимов реактора ВВЭР-1200 и для описания нейтронно-физических характеристик применяется точечная модель кинетики [1], дополненная местными обратными связями по технологическим параметрам. К сожалению, такая модель не учитывает пространственные эффекты, при которых происходит накопление продуктов деления. Таким образом, функционирование реактора в маневренных режимах, например, в режиме следования за нагрузкой, приводит к дисбалансу активной зоны и возникновению аксиальных ксеноновых колебаний, которые подавляются АРМ. Известно, что АРМ, синтез которого

происходит на модели точечной кинетики, без вспомогательных управляющей воздействий не удерживает значения аксиального офсета в диапазоне границ офсетно-мощностной диаграммы [2]. Это вызывает нарушение энергораспределения, значительно повышает риск перегрева оболочек ТВЭЛ и приводит к сокращению времени эксплуатации исполнительных механизмов СУЗ. Следовательно, необходимо рассматривать современные стратегии управления и более уточнённые модели, исключая недостатки и допущения классических моделей. Таким подходом может являться многоузловое представление нейтронно-физических и теплогидравлических процессов, дополненное обратными связями.

Список литературы:

1. Avery, R., (1958). Theory of coupled reactors. In: Proc. 2nd UN Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, United Nations, vol. 12, p. 182.
2. Соловьёв Д.А., Хачатрян А.Г., Чернов Е.В., Аль М.Р. Исследование алгоритмов подавления ксеноновых колебаний в реакторе ВВЭР-1200 // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – № 2. – С. 37–48. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.2.04>.



Секция
« Киберфизическое, электрофизическое и ядерное приборостроение »

Председатель секции –

Юрков Дмитрий Игоревич,

доктор технических наук,
и.о. директора ИФТИС НИЯУ МИФИ,
заведующий кафедрой №24 ИФТИС НИЯУ МИФИ,
заместитель директора –
первый заместитель главного конструктора –
руководитель научно-производственного центра
импульсной техники ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»

Нейтронно-радиационный метод определения концентрации бора в водном растворе

М.И. Бабич, И.В. Урупа

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

С помощью нейтронно-радиационных методов анализа определены минимально обнаруживаемые концентрации (МОК) изотопа ^{10}B в воде с использованием радиоизотопного (α, n) источника и портативных генераторов d-d, d-t нейтронов. С использованием (α, n) источника на основе $^{238}\text{PuBe}$ МОК ^{10}B составила $2,91 \pm 0,03$ мг/л, для квазинепрерывного генератора нейтронов на основе (d,d) реакции – $0,063 \pm 0,002$ мг/л и $0,033 \pm 0,002$ мг/л при расположении образца вплотную к генератору и при использовании сосуда Маринелли на расстоянии 350 мм от генератора, соответственно.

Определение концентраций ^{10}B с высокой чувствительностью (или низкой МОК) является актуальной задачей при проведении анализа элементного состава горных пород, нефтяного шлама, керна из разведочных скважин, борного регулирования активной зоны водо-водяных ядерных установок. Также с помощью представленных методов можно оценивать количественное содержание примесей в питьевой и водопроводной воде.

Основными составляющими экспериментального стенда по проведению нейтронно-радиационного анализа являются: источник нейтронов, исследуемый образец и детектор вторичного γ -излучения. В качестве источника нейтронов использовался радионуклидный (α, n) источник ИБН-8-2, 10^6 нейтр./с, расположенный на расстоя-

нии 200 мм от образца, квазинепрерывные генераторы нейтронов на основе реакций (d,t) и (d,d), $4 \cdot 10^7$ и $3 \cdot 10^6$ нейтр./с, соответственно. Регистрация вторичного γ -излучения с энергией 478 кэВ осуществлялась с помощью сцинтилляционного детектора на основе кристалла LaBr_3 размерами $\varnothing 75 \times 75$ мм. Для обеспечения наибольшего геометрического фактора образец-детектор в качестве ёмкости для исследуемого образца воды использовался сосуд Маринелли объёмом 4 литра и диаметром 290 мм.

При обработке результатов экспериментов измерялась площадь пика полного поглощения (ППП) по линии 478 кэВ, которая соотносилась с концентрацией изотопа ^{10}B в растворе. Интерполяция полученной зависимости позволяет определить неизвестную концентрацию в исследуемых образцах.

Особенности применения полупроводниковой дозиметрии в полях реакторного излучения

И.В. Бутин, А.В. Бутин

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Предложена расчетно-экспериментальная методика учёта изменения чувствительности полупроводниковых приборов при использовании их в качестве детекторов радиационной нагрузки, позволяющая снизить систематическую погрешность дозиметрии и повысить достоверность определения показателей стойкости объектов испытаний.

При проведении радиационных испытаний в условиях воздействия статического гамма-нейтронного излучения реакторов необходимо обеспечить «on-line»-дозиметрию, позволяющую оперативно управлять длительностью облучения и его интенсивностью для выполнения требований по уровням нагружения. Для «on-line»-измерений интегральных характеристик ИИ применяют откалиброванные в опорных полях полупроводниковые детекторы:

- биполярные транзисторы, по изменению коэффициента усиления которых определяют эквивалентное значение флюенса быстрых нейтронов;
- р-канальные МОП-транзисторы, по сдвигу порогового напряжения которых определяют дозовую нагрузку.

Условия облучения полупроводниковых детекторов в полях статического гамма-нейтронного реакторного излучения отличаются от условий калибровки, поэтому необходимо оценить влияние одновременного действия гамма- и нейтронной составляющих реакторного излучения на изменение чувствительности полупроводниковых детекторов.

В ходе выполненных экспериментальных исследований установлено, что в полях

реакторного излучения с повышенной дозовой нагрузкой наблюдается дополнительная деградация коэффициента усиления транзисторов. Поэтому при использовании биполярных транзисторов для определения эквивалентного значения флюенса нейтронов могут быть получены завышенные на 10–15 % значения. Установлено также, что облучение нейтронами МОП-транзисторов при повышенных уровнях нагружения приводит к повышению их дозовой чувствительности. Чувствительность к воздействию гамма-излучения исследованных образцов увеличивалась до 7,5 раз после облучения флюенсом нейтронов до 10^{14} нейтр./см².

На основании полученных результатов предложена расчетно-экспериментальная методика учёта изменения чувствительности полупроводниковых приборов при использовании их в качестве детекторов радиационной нагрузки и при планировании испытаний по подтверждению стойкости аппаратуры автоматики и её составных частей. Данная методика позволяет существенно снизить систематическую погрешность дозиметрии и повысить достоверность определения показателей стойкости объектов испытаний.

Сравнительный анализ результатов измерения дозовых характеристик, полученных с помощью спектрометра-дозиметра UNSD-15 Mobile и различными типами дозиметров, используемых в РФЯЦ-ВНИИЭФ

к.т.н. Е. Ю. Тарасова, М.А. Калмыков, **Д.Р. Воробьева**, Э.А. Гуменных,
к.ф.-м.н. А.А. Кайгородов, С.С. Клоков, Д.С. Уткин, С.В. Финогеев

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

В работе представлены результаты сравнения дозовых характеристик, полученных с помощью спектрометра-дозиметра и различными типами дозиметров. Исследования проводились на изотопных источниках нейтронного излучения (Pu-Be и ^{252}Cf). Результаты измерений различными типами дозиметров и спектрометром-дозиметром совпадают между собой в пределах заявленной погрешности.

Современная система дозиметрических величин в практике радиационного контроля включает в себя измерение физических и операционных величин и интерпретацию результатов определения операционных величин в терминах эффективной дозы. Операционные величины, измеряемые при контроле нейтронного излучения, основаны на эквивалентах дозы с учётом взвешивающих коэффициентов, которые зависят от энергии нейтронов.

Все средства измерений (СИ), используемые для определения операционных величин, проходят процедуру калибровки в поле излучения $^{238}\text{Pu}-(\alpha, n)\text{-Be}$ -источника с учётом переходных коэффициентов. Однако условия облучения при калибровке СИ и на рабочих местах могут существенно отличаться.

Целью проведённого исследования является сравнение показаний СИ, используемых для проведения радиационного контроля с показаниями спектрометра-дозиметра UNSD-15 Mobile [1]. Исследования проводились на радионуклидных источниках нейтронного излучения с различными спектральными характеристиками ($^{238}\text{Pu}-(\alpha, n)\text{-Be}$ и ^{252}Cf -источники). Полученные результаты показали, что значения мощности амбивалентного эквивалента доз нейтронного и гамма-излучений, измеренные различными СИ радиационного контроля и спектрометром-дозиметром UNSD-15 Mobile, совпадают между собой в пределах заявленной погрешности.

Список литературы:

1. Спектрометр-дозиметр UNSD-15 Mobile нейтронного и гамма-излучения: Руководство по эксплуатации. – ООО «Центр АЦП». – 64 с.

О структуре функции отклика детектора с алмазным чувствительным элементом при регистрации ДТ-нейтронов

к.ф.-м.н. **В.В. Гаганов**¹, А.В. Долгополов^{1,2}, И.С. Вершинин¹

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия;

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова – Москва, Россия

Представлены результаты анализа распределений амплитуд импульсов, измеренных при регистрации спектра ДТ-нейтронов детектором с алмазным чувствительным элементом. Показано, что для описания функции отклика рассматриваемого детектора необходимо использовать трёхкомпонентное представление.

Выполнен анализ энергетических распределений заряженных частиц, образующихся при взаимодействии ДТ-нейтронов с чувствительным элементом алмазного детектора, полученных в эксперименте на генераторе нейтронов НГ-150М в РФЯЦ-ВНИИЭФ, и опубликованных результатов экспериментов в других лабо-

раториях. Показано, что на участке энергий, соответствующих реакции $^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{Be}$, функция отклика детектора с алмазным чувствительным элементом существенно отличается от изолированного гауссо-подобного пика. Предложено использовать для описания функции отклика трёхкомпонентное представление, включающее: а) гауссо-подобный пик; б) протяжённый «хвост», обусловленный вылетом заряженных частиц за пределы чувствительной области детектора; в) «сателлитный» пик, предположительно связанный с неодинаковым сбором носителей заряда, возникающих в алмазе при торможении ионов с разными зарядами.

Основные решения по обеспечению технологической независимости приборов дозиметрического контроля

В.Г. Голубев, В.А. Кишев, А.А. Иванов

АО «СНИИП» – Москва, Россия

Приведены результаты разработки элементов систем автоматизированного индивидуального дозиметрического контроля для атомных станций. Освещены конструктивные особенности, принятые схмотехнические решения при проектировании оборудования.

Обеспечение индивидуального дозиметрического контроля персонала атомных станций практически всегда реализовывалось посредством локализации технических средств иностранных производителей. Отказ от поставок оборудования как на проектируемые российские энергоблоки, так и на зарубежные проекты, реализуемые Росатомом, в очередной раз подчеркнул степень значимости подходов к обеспечению технологической независимости.

Перед АО «СНИИП», являющимся головной организацией отрасли в решении

задач радиационного контроля, была поставлена задача комплексной разработки и поставки на производство элементов автоматизированных систем индивидуального дозиметрического контроля (АСИДК).

В докладе представлены сравнительный анализ конкурентного оборудования, принятые конструктивно-технические решения для достижения метрологических и технических характеристик, для обеспечения требований устойчивости к внешним воздействиям.

Результаты внедрения инженерно-экономического подхода при разработке оборудования радиационного контроля

к.ю.н. Д.Ю. Байдаров ¹, **А.С. Гордеев** ², А.А. Иванов ²,
д.т.н. С.Б. Чебышов ², д.т.н. И.И. Черкашин ²

¹ Госкорпорация «Росатом» – Москва, Россия;

² АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе представлен технико-экономический анализ опыта применения новых типов программно-технических средств радиационного контроля, начиная с этапа разработки оборудования для АЭС «Руппур», АЭС «Аккую» и Курской АЭС-2. Представлен обзор внешних нормативно-технических факторов, влияющих на затраты при реализации проектов с использованием вновь разработанной продукции. Выполнена количественная оценка влияния принятых технических решений при разработке блоков и устройств детектирования для АСРК на сумму материальных затрат и трудоёмкость изготовления продукции для поставки на АЭС. Сделаны выводы об экономической эффективности перспективных разработок, выполненных в ходе выполнения ОКР в форме инвестиционных проектов по совершенствованию продуктовой линейки гражданского назначения в АО «СНИИП».

Для обеспечения соответствия оборудования АСРК проектным требованиям и требованиям технических заданий на поставку (контрактным требованиям) был проведён ряд дополнительных испытаний, внесены многочисленные изменения в документацию, сделан большой объём расчётов, заново выполнена сертификация. Помимо глубокой модернизации серийной аппаратуры, были впервые применены вновь разработанные приборы, созданные в инициативном порядке в рамках проекта «Кайман», при создании которых, наряду с инженерно-экономическим подходом к разработке, были учтены: опыт эксплуатации, требования перспективных проектов, а также существующие на рынке тренды.

Несмотря на различные трудности, связанные с длительными и неэффективными процедурами оценки соответствия оборудования на этапе разработки и на последующих этапах, реализованы проекты по

созданию АСРК для АЭС «Руппур», АЭС «Аккую» и Курской АЭС-2 преимущественно на основе вновь разработанной линейки продуктов. Проведённая оценка экономической эффективности технических решений, принятых при разработке нового оборудования, показывает (в среднем): незначительное увеличение материальных затрат при производстве – не более 10 %, существенное сокращение трудоёмкости изготовления – более чем на 50 %, значительное снижение общей себестоимости – более чем на 70 %. Полученный опыт внедрения новых разработок с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками может быть распространён на всю продуктовую линейку и использован при реализации следующих проектов АСРК для АЭС с минимальными временными и стоимостными издержками, параллельно с гармонизацией нормативных требований к оборудованию.

Влияние современных требований по оценке соответствия продукции на сроки и стоимость реализации проектов создания и ввода в действие систем и оборудования АСУ ТП АЭС

к.ю.н. Д.Ю. Байдаров ¹, **А.С. Гордеев** ², А.А. Иванов ²,
д.т.н. С.Б. Чебышов ², д.т.н. И.И. Черкашин ²

¹ Госкорпорация «Росатом» – Москва, Россия;

² АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе представлены обзор требований и оценка технико-экономического эффекта от мероприятий по выполнению требований НП-001-15, НП-071-18 и ГОСТ Р 50-й серии на примере разработки, изготовления и поставки оборудования систем радиационного контроля для АЭС «Руппур», АЭС «Аккую» и Курской АЭС-2.

В процессе разработки и изготовления оборудования осуществляются мероприятия по оценке соответствия продукции в нескольких формах: контроль, экспертиза технической документации, испытания, приёмка, обязательная сертификация, решение о применении импортной продукции на объекте использования атомной энергии. Основной проблемой является несогласованность отдельных требований регламентирующих документов, применимых в случаях инициативной разработки оборудования и исполнения договоров поставки. В отношении одних и тех же типов оборудования в разное время для разных объектов принимаются различные проектные решения, из-за которых мероприятия по оценке соответствия выполняются многократно и занимают несколько итераций. Соответствующие процедуры описаны для поставки и не учитывают особенности самого оборудования. Даже при отсутствии изменений в технических характеристиках указанные процедуры могут повторяться неоднократно.

Исходя из реальной длительности и трудоёмкости процедур согласования, экс-

пертизы и утверждения технической документации в процессе оценки соответствия оборудования, сделан вывод о несовершенстве системы нормативно-технического регулирования работ по конструированию, изготовлению и поставке продукции. На примере создания АСРК для АЭС «Руппур» проиллюстрировано неоправданное увеличение сроков разработки и постановки на производство новых изделий, когда средняя длительность процедур согласования технической документации в ходе оценки соответствия составила 437 дней, что привело к существенному росту затрат при реализации проектов сооружения энергоблоков, но при этом не влекло за собой улучшения качества и надёжности аппаратуры. Обоснованы предложения по оптимизации требований НП-071-18 и ГОСТ Р 50-й серии, в действующей редакции не учитывающих специфику оборудования систем контроля, управления и диагностики, а также целесообразность разработки и введения в действие типовых технических требований к оборудованию для использования в качестве исходных данных для проектирования новых энергоблоков АЭС.

Исследование физико-химических характеристик материала на основе модифицированной полисульфоном эпоксидной смолы с латентным отвердителем

А.М. Десяцкова, Д.А. Нечаева, к.т.н. И.А. Крючков,
к.т.н. Р.Е. Невский, д.т.н. А.В. Соковишин

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Целью данной работы является получение диэлектрического композиционного материала для создания изоляции в элементах приборов автоматики с применением автоматических заливочных систем. В работе получены связующие на основе эпоксидного олигомера ЭД-20, отверждённые латентным отвердителем дициандиамином и модифицированные термопластичным полимером полисульфоном.

Основными недостатками эпоксидиановых смол для их использования в качестве матриц в полимерных композиционных материалах для ответственных деталей различных конструкций, например, в изделиях радиоэлектронной аппаратуры и в теплонагруженных узлах трения являются их относительно низкая теплостойкость, прочность при изгибе, ударная вязкость. Повысить физико-химические свойства эпоксидного связующего можно введением термопластичных модификаторов, например, полисульфона.

В качестве основы исследуемых систем использовали эпоксидный олигомер ЭД-20. Перед проведением основного этапа исследований были выполнены предварительные работы по подбору растворителя для предотвращения выпадения осадка дициандиамида, а также выбран оптимальный режим отверждения композиции. Процесс отверждения связующего изучали методом ИК-спектроскопии.

Исследование динамической вязкости неотверждённых немодифицированных связующих проводили методом ротационной вискозиметрии при 25 °С и 80 °С в течение 5 часов. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии в сканирующем режиме со скоростью 5 °С/мин показали, что введение термопластичного модификатора замедляет процесс отверждения связующего, а также увеличивает температуру начала отверждения. Введение термопластичного модификатора также приводит к росту термостойкости эпоксидного связующего почти в 2 раза.

Полученные эпоксидные связующие были использованы для электрической изоляции моточных изделий. Показано, что введение термопластичного модификатора снижает величину тока утечки с 1,36 мА до 0,03 мА при 120 °С, а тангенс угла диэлектрических потерь проходит через максимум при 80 °С.

Система быстрого вывода пучков высокозарядных ионов из источников «КРИОН»

А.Ю. Бойцов¹, Е.А. Бутенко¹, к.ф.-м.н. Е.Е. Донец¹, **М.Г. Дзугаев**^{1,2}, Н.А. Малышев¹, Е.С. Матюханов¹, А.Ю. Рамздорф¹, Д.Н. Рассадов¹, Д.О. Понкин^{1,2}

¹ Объединённый институт ядерных исследований – Дубна, Россия;

² Государственный университет «Дубна» – Дубна, Россия

Импульсный электронно-струнный источник ионов «КРИОН-6Т» [1] является основным устройством для получения высокозарядных тяжёлых ионов на инжекционном комплексе NICA [2] (Nuclotron-based Ion Collider fAcility) в Лаборатории физики высоких энергий (ЛФВЭ) ОИЯИ.

В ходе четвёртого этапа пусконаладочных работ (ПНР) комплекса NICA в 2022–2023 гг. ионы $^{124}\text{Xe}^{28+}$ ($Z/A=1/4,4$), полученные на источнике «КРИОН-6Т», ускорены на ускорительном комплексе ЛФВЭ до энергии 3,9 ГэВ/н [3].

Система экстракции ионов, разработанная ранее [4] и использованная в этом ускорительном сеансе, задавала минимальное время вывода ионов из ионной ловушки источника «КРИОН-6Т», равное $\tau \geq 12$ мкс. Однако для обеспечения более эффективной инжекции пучка ионов в Бустер требо-

валось обеспечить вывод ионов из источника за $\tau \sim 4$ мкс (проектное время инжекции пучка).

Представленная работа посвящена описанию основ и экспериментальных результатов внедрения новой электронной системы управления ионной ловушкой для быстрого вывода ионов из источника «КРИОН-6Т», обеспечившей вывод ионов $^{124}\text{Xe}^{28+}$ за $\tau \sim 4$ мкс. Разработанная и применённая, описываемая система реализует независимую синхронизированную схему последовательного установления потенциалов на трубках дрейфовой структуры. Она представляет собой 19-дюймовую стойку с изолированной верхней частью, где на высоковольтном потенциале размещены крейты с блоками формирования положительных высоковольтных напряжений $U \leq +3,5$ кВ количестве 24 шт.

Список литературы:

1. Рассадов Д.Н. Перспективы использования источника многозарядных ионов «КРИОН-6Т» на инжекционном комплексе NICA: многократная инжекция ионов тяжелых элементов / Д.Н. Рассадов, Д.О. Понкин [и др.] // Письма в «Физика элементарных частиц и атомного ядра». – 2024. – Т. 21. – № 3 (254). – С. 281–289.
2. Tuzikov A.V. Beam Transfer Systems of NICA Facility: from HILAC to Booster [Текст] / A. V. Tuzikov [et al.] // Proc. RuPAC'21 (Alushta, Russia). – JACoW Publishing, Geneva, Switzerland, 09/2021. – P. 61–64. – (Russian Particle Accelerator Conference; 27).
3. Бутенко А.В. Статус комплекса NICA: [Труды XXVIII Международной конференции по ускорителям заряженных частиц (RuPAC'23), Новосибирск, Россия, 11-15 сентября 2023 г.] / А.В. Бутенко, и др. // Физика элементарных частиц и атомного ядра. Письма. – 2024. – Т. 21, № 3. – С. 248–256.
4. Donets E.D. ESIS ions injection, holding and extraction control system. / E.D. Donets, D.O. Ponkin [et al.] // EPJ Web of Conferences. – 2018. – Volume 177, 08002.

Оценка возможности использования GEANT4 для моделирования источника DT-нейтронов

А.В. Долгополов^{1,2}, Р.Ф. Ибрагимов³, к.ф.-м.н. В.В. Гаганов¹

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия;

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова – Москва, Россия;

³ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Электрофизические источники нейтронного излучения на базе линейных ускорителей заряженных частиц (в том числе нейтронные генераторы) являются важным инструментом современной экспериментальной физики не только в области прикладных исследований управляемого термоядерного синтеза, но и в области исследования фундаментальных свойств элементарных частиц. Нейтронные генераторы применяются для получения таких ядерно физических данных, как микроскопические сечения взаимодействия, уровни возбуждения ядер и др. При этом, чем точнее известен энергетический спектр нейтронов, испускаемых генератором, тем точнее результат оценки рассматриваемого ядерно-физического параметра. В связи с этим актуальной задачей является расчёт энергетического спектра нейтронов, образующихся в источниках излучения данного типа.

Основной особенностью расчёта спектра нейтронов, образующихся в термоядерных реакциях $T(d,n)\alpha$ и $D(d,n)^3He$ в объёме мишени нейтронного генератора, является корректный учёт процессов торможения ионов дейтерия в веществе мишени, которое в большинстве случаев представляет собой гидрид титана (TiH_2 или TiD_2). Существует ряд пакетов и программ для моделирования процессов торможения заряженных частиц в веществе с помощью метода Монте-Карло (MCNP, GEANT4, SRIM-2013).

В настоящей работе моделирование бомбардировок титан-третиевой мишени дейтронами с энергией 160 кэВ выполнено методом Монте-Карло в программе GEANT4 и SRIANG, с использованием пакета SRIM. Представлены результаты расчёта энергетических спектров нейтронов, вылетающих из мишеней под разными углами. Проведено сравнение результатов расчётов. Проанализированы преимущества и недостатки разных подходов к моделированию источника DT-нейтронов.

Исследование гашения дуги в источнике ионов вакуумной нейтронной трубки в зависимости от параметров разряда в электрической схеме излучателя нейтронов

Н.А. Драченков, В.М. Ермаков, Р.И. Бутов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В работе представлены исследования зависимости гашения дуги в ионном источнике (ИИ) от производной тока в окрестности нуля при различных параметрах разряда. Полученная зависимость позволяет рассчитать параметры электрической схемы излучателя нейтронов со стабильным гашением дуги после первой полуволны, что может повысить рабочие параметры импульсного нейтронного генератора (ИНГ), такие как стабильность нейтронного потока и ресурс работы.

ИНГ на основе вакуумной нейтронной трубки (ВНТ) применяют для широкого круга исследовательских и производственных задач. Ресурс работы и стабильности нейтронного выхода ИНГ во многом зависит от режима работы ИИ. Ток ИИ имеет вид затухающей синусоиды и с некоторой вероятностью может обрываться после первой полуволны. Обычно нейтронный импульс имеет длительность меньшую, чем полное время горения дуги в ИИ. Основной вклад в нейтронный импульс вносит первая полуволна тока ИИ [1]. Стабильное гашение вакуумной дуги (ВД) в ИИ может увеличить ресурс работы ИНГ за счёт уменьшения эрозии электродов ИИ. В режиме работы с одной полуволной тока может увеличиться стабильность нейтронного потока ИНГ.

В литературе [2, 3] считается, что вероятность гашения ВД в управляемом вакуумном разряднике, который имеет принцип действия схожий с ИИ, зависит от производной тока в окрестности перехода через ноль. Однако нет данных о такой зависимости для ИИ. В данной работе исследуется эта зависимость для ИИ ВНТ147. Полученные данные позволяют рассчитывать параметры электрической схемы питания излучателя, в которой обеспечивается разряд с одной полуволной тока. Однако данный способ значительно уменьшает нейтронный выход. Это проблема может быть решена вводом дополнительных элементов в разрядную цепь ИИ.

Список литературы:

1. Битулев А.А., Чуринов С.В., Щитов Н.Н., Юрков Д.И., Кладко С.Г., Масленников С.П., Степанов Д.С., Школьников Э.Я. Повышение эффективности источников ионов вакуумных нейтронных трубок // Атомная энергия, – Т. 118 (284). – Вып. 5. – 2015.
2. Вакуумные дуги. Теория и приложения / Под ред. Дж. Лафферти. – М.: Мир, 1982.
3. Е.Г. Крастелев, С.П. Масленников, Э.Я. Школьников. Исследования режимов коммутации малогабаритных управляемых вакуумных разрядников // Радиотехника и электроника. – 2017. – Т. 62. – № 2. – С. 179–186.

Экспериментальная отработка устройства снижения ударного воздействия на объект при торможении в уловителе на ударном стенде

В.Б. Еремин, Ю.А. Пятаков

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Экспериментальная отработка стойкости ряда измерительных приборов сопряжена с необходимостью проведения испытаний на взрывных ударных стендах, разгоняющих компактные объекты массой не более 1 кг до скорости порядка 300 м/с. При этом возникает необходимость спасения объекта и его торможения в уловителе.

Проведение испытаний в условиях полигона не предполагает минимальности габаритов уловителя. Однако для большинства лабораторных ударных стендов стоит задача обеспечения компактности уловителя и минимума амплитуды ускорения торможения объекта испытаний.

В работе приведено расчетно-экспериментальное обоснование способа и устрой-

ства, его реализующего, по снижению уровня ударного ускорения торможения объекта испытаний при спасении на взрывном ударном стенде за счёт специальной конструкции уловителя, обеспечивающего квазистатический характер изменения ударного ускорения торможения.

Показано конструктивное исполнение устройства для выбранной компоновочной схемы объекта испытаний. Приведены результаты численного обоснования напряженно-деформированного состояния материала устройства, которые позволяют прогнозировать режим нагружения объекта испытаний при торможении на взрывном ударном стенде.

Разделение различных видов излучения с помощью пластиковых сцинтилляторов

С.Б. Журба, В.А. Кишев

АО «СНИИП» – Москва, Россия

Для пластиковых сцинтилляторов различного состава была исследована их способность к разделению альфа-бета и нейтрон-гамма-излучения. Разработан алгоритм разделения сигналов по форме импульса. Получено значение эффективности разделения для зарубежных и отечественных сцинтилляторов.

Разделение сигналов, полученных от различных видов излучения, является важной частью дозиметрического и радиационного контроля. Для этих целей применяются сцинтилляционные счётчики с составными фосфорами, каждый из которых обладает своим характерным временем высвечивания. Разделение излучения применяется при анализе поверхностной активности загрязнённых сред, в системах индивидуального дозиметрического контроля, а также в научных исследованиях.

Основными составляющими экспериментального стенда являются система сбора данных, разработанная в АО «СНИИП» (на базе быстродействующего ФЭУ Hamamatsu), АЦП “CAEN 5730sb” с тактовой частотой 500 МГц, исследуемый сцинтиллятор и источник ИИ. В качестве источников используются образцовые источники α -, β - и γ -излучения, а также радионуклидный PuBe (α, n)-источник (источник нейтронов).

Сигналы со стенда обрабатывались с помощью АЦП и записывались в файл, содержащий информацию о форме импульса на выходе ФЭУ. Путём интегрирования «ко-

роткой» и «длинной» части сигнала происходит разделение сигналов по форме – так называемое PSD-разделение. Алгоритм разделения реализован «с нуля» на языке Python. Полученные данные можно сравнить со встроенным анализатором CAEN, а также оценить эффективность разделения зарубежных и отечественных сцинтилляторов. Данные о форме импульса и его амплитуде позволяют построить амплитудное распределение (спектр) отдельно для каждого источника в полях смешанного типа. Полученная линейная функция зависимости числа счётов от активности источника может быть положена в основу методики определения активности.

Показано, что эффективность разделения отечественных сцинтилляторов не уступает зарубежным. Добротность разделения в некоторых случаях достигает значения 10,2. Обработка сырых данных в некоторых случаях даёт лучший результат, чем готовое ПО поставщика АЦП. Разработанный алгоритм может быть успешно интегрирован в блок детектирования нового поколения производства АО «СНИИП».

Температурные режимы камер инерциального электростатического удержания плазмы

Е.Д. Зяблицева, И.А. Прокуратов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Проведены исследования тепловых режимов камер инерциального электростатического удержания плазмы типа ИУ1-120 в различных условиях их эксплуатации. Исследования проведены с целью определения предельных значений вкладываемой в систему электрической мощности и её влияния на генерируемый поток нейтронов в разных постановках экспериментов.

В работе рассматривается камера типа ИУ1-120, представляющая собой систему из двух сферических электродов, concentric расположенных друг относительно друга. Внутри камеры нарабатываются ионы изотопов водорода, ускоряемые в процессе работы от внешнего электрода (анода) к внутреннему (катоде), который выполняется в виде сетки. В процессе работы ускоренные ионы, попадая на катод, нагревают его до температур порядка $\sim 1000^\circ\text{C}$, нагрев катода до таких температур ограничивает выбор материала для его изготовления. В свою очередь, электронная компонента разрядного тока приводит к нагреву других компонентов камеры, включая корпус (анод), разогрев которого до темпе-

ратур более 150°C приводит к техническим трудностям и ограничениям при эксплуатации системы.

В работе проведены модельные расчёты нагрева камеры типа ИУ1-120 в различных условиях её эксплуатации. Рассмотрены в том числе известные системы активного охлаждения корпуса камер [1] и катода [2, 3]. Проведены оценки температуры различных элементов камеры при вкладываемых электрических мощностях до 5 кВт, определены предельно допустимые значения мощности в различных постановках эксперимента, используя в качестве критерия условие не превышения 100°C температуры корпуса камеры.

Список литературы:

1. Bark M., Masuda K., Yoshida M. Development of a portable neutron generator based on inertial electrostatic confinement D-D fusion reaction // AIP Conference Proceedings 2160. – 2024.
2. Sakabe T. Cathode cooling effects on the neutron production rate in the glow discharge type of fusion neutron source / T. Sakabe, T. Ishii, I. K. et al. // Journal of Applied Physics. – 2024. – № 136. doi: 10.1063/5.0216798.
3. Asle Zaeem A.R. Design and construction of actively cooled cathode for inertial electrostatic confinement approach to extend the operational time / A.R. Asle Zaeem, M. Sedaghat Movahhed, A. Bagheri et al. // Journal of Nuclear Science. – 2025. – № 11. – С. 58–66.

Прибор для измерения выхода нейтронов импульсных источников излучения

М.Ю. Мишин¹, А.П. Денисенко¹, **Р.Ф. Ибрагимов**¹, к.ф.-м.н. Е.В. Рябева¹,
к.т.н. Ю.В. Михайлов², В.П. Тарасов²

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия;

² ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Представлены результаты работы с экспериментальным образцом прибора, предназначенным для измерения выхода нейтронов импульсных источников излучения активационным методом. Описана процедура разработки и изготовления прибора, в том числе обоснование конструкции замедлителя и конфигурации счётчиков вторичного излучения, полученное с использованием инструментов физико-математического моделирования в среде Geant4.

Приведены результаты экспериментов по регистрации импульсного нейтронного излучения с энергиями 2,5 и 14 МэВ в диапазоне значений выхода нейтронов от $2 \cdot 10^5$ до 10^{11} нейтрон за импульс. Разработана методика калибровки прибора с использованием источников нейтронов непрерывного типа. Рассмотрено влияние основных факторов, вносящих вклад в неопределённость результатов измерений, и даны оценки полной погрешности измерений в зависимости от различных условий эксперимента.

Развитие методов регистрации нейтронного излучения является актуальной научно-технической задачей. Отдельно следует отметить важность работ по созданию устройств, позволяющих регистрировать и проводить анализ нейтронного излучения, генерируемого в виде кратковременных импульсов длительностью от десятков нс до единиц мкс. Импульсное нейтронное излучение является одним из распространённых инструментов анализа в задачах по изучению состава вещества, уточнения ядерно-физических констант, а также при создании и эксплуатации исследовательских ядерно-энергетических установок.

Одним из наиболее применимых методов регистрации импульсного нейтронного излучения является активационный метод [1, 2]. В данной работе представлены результаты разработки и испытаний экспериментального образца прибора, реализующего данный метод. Рассмотрена возможность использования двух различных материалов для изготовления активационных детекторов: индия и серебра. Показана возможность использования разработанного прибора для регистрации нейтронов с интервалом между импульсами до 100 с.

Список литературы:

1. G. F. Knoll // Radiation detection and measurement // John & Wiley Sons Inc. – 2010.
2. A. Pietropaolo et al. // Neutron detection techniques from μeV to GeV // Physics Reports. – 2020. – V. 875. – Pp. 1–65.

Оптимизация технических решений в оборудовании АСРК при сохранении базовых показателей назначения продукции

А.А. Иванов, д.т.н. С.Б. Чебышов, А.С. Гордеев, В.А. Кишев, М.Д. Дерябина,
В.Г. Голубев, А.В. Редкоус, Е.М. Ветошкин, А.А. Бобер

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В рамках инвестиционного проекта «Кайман», реализованного АО «СНИИП» в течение 2020–2024 гг., была создана новая линейка продукции гражданского назначения, удовлетворяющая самым жёстким требованиям текущих и перспективных проектов АЭС. В результате, при обеспечении соответствия проектным требованиям и вследствие реализации дополнительных функций оборудования отмечено увеличение себестоимости продукции по сравнению с предыдущим поколением приборов по ряду позиций.

Сокращение себестоимости (материальных затрат и трудоёмкости изготовления оборудования) при сохранении базовых технических характеристик измерительных каналов позволит расширить область применения оборудования радиационного контроля в сегментах рынка: объекты использования атомной энергии гражданского и двойного назначения, включая АЭС малой мощности, исследовательские ядерные реакторы, объекты ЯТЦ, радиационные источники и пункты хранения радиоактивных веществ и радиоактивных отходов и др.

Продуктовая линейка, созданная в рамках проекта «Кайман», позиционируется на рынке оборудования радиационного контроля в качестве флагманского решения дивизиона «АСУ ТП и Электротехника», в первую очередь, для применения на АЭС большой мощности.

Цель работы – оптимизация конструкторских и технологических решений с целью сокращения трудоёмкости изготовления продукции при сохранении базовых технических характеристик.

Работы по оптимизации технических решений будут включать в себя несколько направлений: проработка конструкторских решений с целью уменьшения защит от внешнего излучения, исследование возможности применения компенсационных детекторов, математическое моделирование регистрации ионизирующих излучений.

В рамках работы будут оптимизированы устройства детектирования объёмной активности инертных радиоактивных газов, аэрозолей, йода-131, жидкостей, блоки детектирования мощности дозы, устройства обработки информации.

Опыт разработки установок для измерения объёмной активности аэрозолей, ИРГ и йода-131

А.А. Иванов, А.А. Бобер, Д.А. Бексалиев, М.В. Карабанов, В.А. Кишев,
Н.В. Томилин, С.В. Ильин, А.С. Зотов

АО «СНИИП» – Москва, Россия

Для АЭС «Руппур» разработаны полнофункциональные установки для измерения объёмной активности газоаэрозольных сред. Представлены результаты работы, а также отличительные особенности установок.

С 2021 года АО «СНИИП» выполняет работы по поставке оборудования радиационного контроля на АЭС «Руппур».

В рамках выполнения работ была сформулирована задача по разработке и изготовлению стендов для размещения оборудования радиационного контроля.

Стенды предназначены для:

- контроля объёмной активности I-131 в воздухе помещений блочных основного и резервного пультов управления;
- контроля объёмной активности инертных радиоактивных газов в системе спецгазоочистки до фильтров-адсорберов;
- контроля объёмной активности выбросов (аэрозолей, газов, йода-131) в выбросах энергоблока через вентиляционную трубу.

В процессе выполнения работ требования изменились, и в итоге на АЭС «Руппур» были поставлены полноформатные радиа-

ционные мониторы, получившие обозначение:

- Установка для контроля ОА выбросов через вентиляционную трубу РАГС-02Р;
- Установка для измерения объёмной активности инертных радиоактивных газов РГБ-14Р;
- Установка для измерения объёмной активности инертных радиоактивных газов РГБ-14Р1;
- Установка для измерения объёмной активности йода-131 РГГ-01Р и РГГ-01Р1.

В процессе разработки установок учтены эксплуатационные особенности подобного типа оборудования. Выполнены требования проектировщика по эргономичности.

Установки прошли приёмочные испытания, поставлены на производство.

Проведены процедуры по утверждению типа средства измерения установок.

Многоканальная волоконно-оптическая система передачи субнаносекундных аналоговых сигналов на основе внешней модуляции

П.В. Кальцын, К.Е. Коротков, Ю.Д. Арапов, Я.А. Кокорев

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты регистрации импульсов рентгеновского излучения от фемтосекундной лазерной установки, переданные макетом многоканальной волоконно-оптической системы передачи субнаносекундных аналоговых сигналов на основе внешней модуляции.

Электромагнитные помехи и высокоинтенсивные потоки ионизирующего излучения сопровождают эксперименты на физических и лазерно-физических установках. Для защиты регистрирующей аппаратуры от воздействия помех и наводок её приходится отдалять на значительное расстояние от исследуемого объекта.

Применение в данных условиях для передачи сигналов до регистраторов коаксиальных электрических кабелей нежелательно из-за большой величины затухания сигнала, чувствительности к радиации и электромагнитным наводкам.

Альтернативной средой передачи сигналов, в том числе наносекундной длительности, не имеющей указанных проблем, является оптическое волокно.

Разработан макет многоканальной системы передачи сигналов на основе внешней модуляции оптического излучения, позволяющий передавать сигналы детекторов ионизирующего излучения с субнаносекундным временным разрешением на расстояние до сотен метров. Для преобразования электрического сигнала детектора в модуляцию оптического излучения ис-

пользуются два модулятора интенсивности по схеме интерферометра Маха-Цендера (ММЦ). Формирование оптических аналогов электрического сигнала производится по схеме, близкой к квадратурной. Для определения функции пропускания и рабочей точки модуляторов используется электрический настроечный сигнал. Подача на входы ММЦ настроечного сигнала или сигнала детектора осуществляется с использованием СВЧ-реле.

Применение технологий волнового и временного уплотнения позволило использовать для передачи оптических сигналов всех ММЦ одно оптическое волокно и один фотоприёмник.

Приведены результаты регистрации импульсов рентгеновского излучения, полученных при воздействии фемтосекундных импульсов лазерной установки на мишень. Длительность зарегистрированных импульсов не превышала 400 пс.

Предложенная система может быть использована в системах диагностики быстропротекающих процессов, лазерно-плазменных исследованиях.

Модернизация алгоритмов обработки аппаратурных спектров в задачах непрерывного контроля объёмной активности радиоактивных аэрозолей

В.А. Кишев, В.Г. Голубев, С.Б. Журба, П.И. Солодских

АО «СНИИП» – Москва, Россия

Для блока детектирования объёмной активности искусственных аэрозолей БДАС-05Р проведена модернизация алгоритмов обработки результатов измерений. Приведены результаты испытаний блока детектирования в большой радоновой камере РК-2007 (из состава ГЭТ 39-2021).

Возможность появления искусственных аэрозолей в воздушной среде характерна для любого объекта использования атомной энергии вне зависимости от технологического процесса предприятия. В контексте оценки радиационного воздействия искусственных аэрозолей на персонал и население реализуется периодический и эпизодический контроль воздуха рабочих помещений, окружающей среды. Для оценки состояния производственного процесса технологический контроль осуществляется в непрерывном режиме измерительными каналами систем радиационного контроля.

Большинство современных радиометров аэрозолей построены на базе полупроводниковых детекторов, позволяющих одновременно регистрировать бета- и альфа-излучающие радионуклиды, получать спектры амплитудного распределения. Обработка спектров амплитудного распределения сопряжена с рядом сложностей, обусловленных непрерывным характером измерений.

Регистрируемые пики поглощения искажаются ввиду потерь энергии альфа-частиц в воздушной среде между фильтром и детектором, потерь энергии в нерадиоактивной пыли, присутствующей в отбираемой пробе, приближая измерительные задачи к измерениям «толстых» аэрозольных проб. Ещё одним фактором неопределённости является необходимость компенсации фона, обусловленного присутствием дочерних продуктов радона и торона.

В ходе обработки аппаратурных спектров полный диапазон регистрации разбивается на области интереса, скорости счёта в которых пропорциональны объёмной активности альфа- и бета-активных аэрозолей. В рамках данной работы предложен новый подход к организации обработки амплитудных спектров регистрируемого излучения с использованием математического аппарата. Приведены результаты сравнительных испытаний с использованием рабочих эталонов и государственного первичного эталона.

Варианты оптических схем лазерной коммутации малогабаритных вакуумных разрядников

д.т.н. **А.Ф. Коваленко**

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Рассмотрены варианты оптических схем, позволяющих осуществлять излучением одного лазера одновременную коммутацию нескольких малогабаритных вакуумных разрядников, расположенных по окружности или в ряд на одной линии.

В настоящее время в различных электрофизических установках находят широкое применение малогабаритные вакуумные разрядники с управлением лазерным излучением. Основным преимуществом вакуумных разрядников с лазерным управлением является полная гальваническая развязка электрической цепи поджига и коммутируемой цепи. Как правило, для коммутации используют лазерные импульсы длительностью от единиц до десятков наносекунд. В некоторых случаях возникает необходимость одновременной коммутации нескольких разрядников одним лазерным импульсом для исключения временной задержки их срабатывания. Для реализации этой задачи необходимо осуществить деление лазерного пучка на несколько частей и обеспечение равенства расстояний, пройденных каждым лазерным пучком до катодов разрядников.

Для обеспечения минимальных объёмов, занимаемых разрядниками, целесообразно их размещать на одной линии или по окружности. При размещении разрядников по окружности для условий их плотной компоновки оптическая схема содержит лазер,

делитель лазерного пучка в виде многогранной пирамиды, количество боковых граней которой равно количеству разрядников в сборке, и фокусирующую линзу. Получены аналитические соотношения, связывающие геометрические размеры разрядников, их количество в сборке, фокусное расстояние линзы, количество граней пирамиды, угол наклона боковых граней к основанию пирамиды, расположенному по нормали к оси лазерного пучка, и коэффициент преломления материала пирамиды. Показано, что при количестве разрядников в сборке больше шести один разрядник можно разместить на оси сборки.

При размещении разрядников на одной линии в качестве делителя лазерного пучка применяют составной клин, количество элементов которого равно количеству разрядников, а угол наклона грани каждого клина определяют по аналитическому соотношению, связывающему геометрические размеры и количество разрядников, фокусное расстояние линзы и коэффициент преломления материала клина.

Разработка математической модели профилометра для верификации распределения потока нейтронов от генератора на меченых нейтронах

И.Д. Колбин, к.ф.-м.н. С.В. Колесников, к.ф.-м.н. Н.В. Бойко,
И.С. Левцов, А.С. Колесников

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В статье рассматривается метод меченых нейтронов для анализа распределения потока нейтронов. Исследуется экспериментальная установка «Профилометр» для визуализации нейтронного поля в области измерения. Разрабатывается математическая модель профилометра для получения исходного углового распределения потока и результатов регистрации меченых нейтронов. Описаны параметры, учитываемые в модели, предложен алгоритм сшивки данных, получены первые «модельные» результаты.

В связи с необходимостью верификации углового распределения потока при работе с нейтронным генератором на меченых нейтронах проводятся работы по конструированию устройства для визуализации поля частиц. Область визуализации разбивается на множество секторов, в каждом из которых проводится измерение нейтронного потока. Единоновременные измерения объединяются с помощью алгоритма сшивки данных.

Так как исходные данные для верификации результатов отсутствуют, ведутся работы по созданию математической модели профилометра, которая предоставит как исходные данные по угловому распределению потока нейтронов, так и результаты регистрации нейтронов системой детекторов.

Финальная математическая модель профилометра должна учитывать следующие параметры: геометрию пучка нейтронов, испускаемого мишенью, изменение формы пучка в рамках одного импульса, начальное положение, размеры и материалы детекторов альфа- и нейтронного излучения и мишени генератора. Все эти параметры вносят неопределённость в исходные данные.

Источник представляет собой плоскость в виде круга, в каждой точке которого может располагаться источник нейтронов. Для каждой частицы с помощью «квазислучайной» функции задаются компоненты единичного вектора, вдоль которого испускается нейтрон. Задаются параметрические уравнения каждой траектории и плоскости торца каждого детектора. Торцы детекторов направлены перпендикулярно потоку нейтронов, поэтому частица не попадает в боковую поверхность чувствительного объёма.

Первые модели стенда, учитывающие лишь размер пучка нейтронов на мишени, показали удовлетворительные результаты и позволили применять алгоритм сшивки данных путём усреднения полученных значений от различных детекторов в области измерения. Это стало возможным благодаря расположению детекторов, описанному выше.

В дальнейшем планируется доработать алгоритм сшивки с учётом геометрии детекторов нейтронов, тем самым введя поправку на угловые отклонения детекторов нейтронов от перпендикулярной оси падающего на них потока нейтронов.

Использование детектора на основе сцинтиллятора $\text{ZnS} + {}^6\text{Li}$ для контроля потока тепловых нейтронов, сформированного с помощью импульсного нейтронного генератора

к.ф.-м.н. **С.В. Колесников**, к.ф.-м.н. В.Ф. Батяев, к.ф.-м.н. Н.В. Бойко,
С.Г. Рудаков, О.В. Чакилев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Для контроля потока тепловых нейтронов обычно применяются хорошо зарекомендовавшие себя счётчики на основе ${}^3\text{He}$. Однако из-за увеличения стоимости ${}^3\text{He}$ приходится искать альтернативные варианты решения данной задачи. Одним из таких решений является сцинтиллятор на основе ZnS с добавлением ${}^6\text{Li}$. Работа по применению таких детекторов ведётся во всём мире, в том числе и в нашей лаборатории.

На текущий момент нас заинтересовала возможность контроля потока тепловых нейтронов в исследуемом образце, который создаётся с помощью импульсного нейтронного генератора. При этом генератор нейтронов испускает быстрые нейтроны с заданной периодичностью, а после прохождения замедлителя нейтроны становятся тепловыми. При этом поле тепловых нейтронов сильно зависит от состава исследуемого образца.

В проводимых исследованиях использовался детектор, состоящий из пластикового световода размером $6 \times 6 \times 100$ мм [1], на одну из боковых граней которого нанесён слой сцинтиллятора $\text{ZnS} + {}^6\text{Li}$. Сигнал снимается с двух торцов световода с помощью двух SiPM. Каждый SiPM напрямую подключён к двум входам анализатора CAEN DT5740D. Такая схема подключения позволяет проводить сбор данных независимо по каждому каналу и в дальнейшем применять различные схемы обработки информации. Результаты, полученные в ходе экспериментов, хорошо совпадают с ранее полученными группой

из Дубны результатами [2], а также с нашими первыми исследованиями при разработке многослойного детектора нейтронов [1].

Основным недостатком детекторов SiPM является контроль собственных шумов, который сильно зависит от температуры. Так как распределение амплитуд сигналов от тепловых нейтронов перекрывается с распределением с шума SiPM, необходимо найти решение, которое позволяло бы разделить эти два распределения. Такое решение было найдено, когда применили схемы совпадения, так как распределения шума от SiPM носят случайный характер, а при регистрации нейтрона должны одновременно срабатывать оба SiPM.

Эксперименты с применением импульсного нейтронного генератора показали, что детектор хорошо справляется с нагрузкой. Таким образом, реализовав на уровне электроники указанный выше способ фильтрации сигнала данных, можно получить детектор тепловых нейтронов, который позволит в ходе эксперимента фиксировать изменение потока тепловых нейтронов.

Список литературы:

1. С.В. Колесников, А.П. Денисенко, Е.В. Рябева. Характеристики детектора на основе сцинтиллятора $\text{ZnS}(\text{Ag}) + {}^6\text{LiF}$ для применения в качестве нейтронного дозиметра // Атомная энергия. – 2023. – Вып. 133(4). – С. 206–210.
2. В.Н. Марин, Р.А. Садыков, В.Г. Недорезов и др. // Новый тип сцинтилляционных детекторов тепловых нейтронов на основе $\text{ZnS}(\text{Ag})/\text{LiF}$ и лавинных фотодиодах. – Москва: ИЯИ, 2015. – 12 с. ил.; 29. – (Препринт ИЯИ РАН); ISBN 978-5-94274-288-1.

Определение пробегов протонов в воде расчётными способами и экспериментальными методами

К.А. Кольцов, к.т.н. А.В. Берлянд

ФГУП «ВНИИФТРИ» – Менделеево, Московская область, Россия

В работе приведено сравнение методов определения пробегов протонов в воде с помощью различных программ и экспериментальных методов с использованием ионизационной камеры и цилиндра Фарадея. Описан реализованный метод по определению пробегов протонов в воде с помощью поглотителя переменной толщины и цилиндра Фарадея.

При проведении адронной лучевой терапии и испытаниях электронной компонентной базы для оценки стойкости к воздействию высокоэнергетического космического излучения требуется обеспечение качества выходных параметров пучков заряженных частиц с ускорителя [1]. Контролируемыми параметрами пучков являются энергия, пробег, флюенс, плотность потока, число частиц, профиль излучения и др.

В работе представлен метод по определению пробегов протонов в воде с помощью цилиндра Фарадея и поглотителя переменной толщины. С помощью цилиндра Фарадея измеряется ток, создаваемый частицами, попав-

шими в его рабочий объём. Пробег в данной конфигурации определяется как глубина, при которой ток уменьшается в два раза. Представлены результаты измерений пробегов протонов в воде с энергиями 100, 150, 220, 240 и 250 МэВ на протонном ускорителе «Прометейс» Медицинского радиологического научного центра имени А.Ф. Цыба.

Проведено сравнение результатов с данными из ICRU 90 [2], веб-базы данных PSTAR лаборатории NIST [3], программами для расчёта пробегов и тормозных способностей SRIM2013 [4] и ATIMA [5], а также программой моделирования Монте-Карло PHITS [6].

Список литературы:

1. А.В. Берлянд, В.А. Берлянд. Методическое обеспечение дозиметрии для целей лучевой терапии // Альманах современной метрологии. – 2019. – № 3. – С. 54–57.
2. S.M. Seltzer, J.M. Fernandez-Varea et al. // Key data for ionizing-radiation dosimetry: measurement standards and applications, ICRU Report 90. 2016.
3. M.J. Berger, J.S. Coursey et al. // Stopping-power and range tables for electrons, protons, and helium ions. July 2017. Available at: <https://www.nist.gov/pml/stopping-power-range-tables-electrons-protons-and-helium-ions> [accessed November 25, 2024].
4. J.F. Ziegler, M.D. Ziegler and J.P. Biersack // SRIM – The stopping and range of ions in matter (2010). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 268.(11-12). 2010. P.1818–1823.
5. URL: <https://web-docs.gsi.de/~weick/atima> [accessed November 25, 2024].
6. T. Sato, Y. Iwamoto et al. // Recent improvements of the particle and heavy ion transport code system–PHITS version 3.33. Journal of Nuclear Science and Technology 61.1. 2024: P.127–135.

Измерение характеристик нейтронных полей (α, n) и D-T источников спектрометром Боннера

В.А. Кугавда, А.П. Денисенко, к.ф.-м.н. Е.В. Рябева

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Точное измерение дозиметрических характеристик нейтронного поля является сложной задачей вследствие сложности регистрации нейтронов различных энергий и значительной зависимости дозы от энергии нейтрона. Для точных измерений, например, для измерений в опорных или эталонных полях нейтронов необходимо применять спектрометры нейтронов, по показаниям которых восстанавливаются спектры нейтронов, а затем дозовые характеристики. Спектрометры нейтронов, основанные на замедлении быстрых нейтронов с последующей регистрацией тепловых нейтронов, называются спектрометрами Боннера [1]. В рамках данной работы представлены спектрометрические и дозиметрические характеристики полей нейтронов (α, n) и D-T источников, измеренные спектрометром Боннера.

Для применения набора сфер Боннера в качестве спектрометра проведено математическое моделирование спектрометра и функций чувствительности от энергии нейтронов. Верификация построенной математической модели проведена сравнением измеренного спектра нейтронов источника $^{241}\text{AmBe}$ [2] и смоделированного отклика. Измерены отклики спектрометра Боннера

на различные нейтронные поля от (α, n) и D-T источников. Полученные экспериментальные значения использованы для восстановления спектров нейтронов и оценки дозовых характеристик.

Для восстановления нейтронных спектров использованы известные из литературы программные алгоритмы: MAXED и GRAVEL.

В соответствии с литературным источником [2], для оценки дозовых характеристик полей нейтронов может применяться усреднённый по спектру конверсионный коэффициент пересчёта флюенса нейтронов в мощность амбиентного эквивалента дозы $h^*(10)$ [2]. По восстановленным спектрам нейтронного излучения для измеренных источников были определены: средняя энергия нейтронов и $h^*(10)$. Полученные значения средней энергии и $h^*(10)$ соответствуют известным из литературы данным для приведённых источников нейтронного излучения [2].

Описанный в работе спектрометр Боннера может применяться для измерений спектрометрических и дозиметрических характеристик полей быстрых нейтронов с плотностью потока нейтронов $(1,62 \pm 0,07) \cdot 10^2$ нейтр./см²/с.

Список литературы:

1. Glenn F. Knoll Radiation detection and measurement. – 4th edit. – United States of America: Hamilton Printing Company, 2010. – 864 с.
2. ISO 8529-1, Neutron reference radiations fields – Part 1: Characteristics and methods of production.

Сегнетоэлектрические температурно-активированные катоды с высокой плотностью тока

к.ф.-м.н. **Д.В. Кузенко**

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон» – Донецк, Россия

В качестве источника электронов с высокой плотностью тока предложено применение перспективного сегнетоэлектрического температурно-активированного (СЭТА) катода, работающего в особом температурном режиме – при температурной активации сегнетоэлектрической доменной структуры.

Открытие в 1987 году сильной электронной эмиссии из переключаемого сегнетоэлектрика (СЭ) с плотностью тока до 100 А/см^2 дало толчок к разработкам новых катодов, в т.ч. источников частиц для ускорителей. В ЦЕРН экспериментально показано, что электронные пучки, испускаемые из СЭ с помощью электронной эмиссии, возбуждаемой полем, могут использоваться для индуцирования диффузного вакуумного разряда и распыления ионов из мишени, образуя мощный ионно-лучевой источник [1]. А в 1996 году компания «Самсунг Дисплей Дивайсис Ко» запатентовала электронно-лучевую трубку с СЭ-эмиттером [2]. Однако существует возможность получения и более высокой плотности тока при наличии большого количества тройных точек металл-диэлектрик-вакуум в СЭ плазменных (СЭП) катодах [3]. То есть в перспективе СЭ-катоды с мощными электронными пучками могут заменить термоионные или полевые эмиссионные катоды, а также могут служить элементами детек-

торов частиц высокой энергии с пикосекундным откликом [1].

В нашем исследовании предложен вариант работы СЭ-катода (на основе керамики $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$) в особом температурном режиме – при температурной активации СЭ доменной структуры. Исходя из этого предлагается название такого катода – сегнетоэлектрический температурно-активированный (СЭТА) катод. Это решение основано на том, что с ростом температуры вблизи фазового перехода происходит максимальное изменение спонтанной поляризации, диэлектрической проницаемости СЭ и рост напряжённости электрического поля на границе раздела СЭ – металлический электрод, необходимой для эмиссии электронов. Для непрерывной работы катода в импульсном режиме необходимо обеспечить такие циклические условия: активация доменной структуры СЭ импульсным нагревом; эмиссия электронов при подаче импульса электрического поля; восстановление доменной структуры электрическим полем [4].

Список литературы:

1. H. Riege // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 1994. V. 340. P. 80–89.
2. Д.-С. Чой и др. // Патент RU96124398A. 1996.
3. Г.А. Месяц // Успехи физических наук. – 2008. – Т. 178. – № 1. – С. 85–108.
4. D.V. Kuzenko // 20th International Workshop Complex Systems of Charged Particles and Their Interactions with Electromagnetic Radiation. 2024. P.94.

Расчётно-теоретическая методика моделирования процессов в источнике Пеннинга

д.ф.-м.н. **С.Е. Куратов**

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Изложена расчётная технология моделирования процессов в источнике Пеннинга, используемом в нейтронных трубках разработки ФГУП «ВНИИА». Представлена модель ионизационной кинетики, включающая в себя процессы ударной ионизации, перезарядки и процессы рассеяния заряженных частиц на нейтралах. Моделирование динамики газового разряда в скрещенных $E \times B$ полях осуществляется методом частиц в ячейке (PIG-MCC), который реализован в программных продуктах: коммерческом VSim и разрабатываемом во ФГУП «ВНИИА» коде PIG 3D Unstr.

Разработанная методика валидирована на многочисленных экспериментах, таких как измерение вольтамперных характеристик источника Пеннинга, определение зависимости вытягиваемого тока от давления газа и величины магнитного поля, определение формы газового разряда, определение режимов горения от параметров источника.

В работе представлено сопоставление расчётных и экспериментальных результатов. Продемонстрировано хорошее согласие.

Показано применение методики для моделирования процессов в нейтронных трубках разработки ФГУП «ВНИИА».

Перспективное использование методов искусственного интеллекта в производственной деятельности ФГУП «ВНИИА»

д.ф.-м.н. **С.Е. Куратов**

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Приведены примеры использования методов искусственного интеллекта в производственной деятельности ФГУП «ВНИИА»: интеллектуальная технология контроля ручных операций по видеоизображению, использование больших языковых моделей (LLM), разработка перспективных конструкционных материалов.

Данные подходы нашли применение в различных областях. Внедрена в производство система, снижающая брак при разработке АСУ ТП для ядерных реакторов. В контуре ФГУП «ВНИИА» развёрнута LLM, облегчающая работу с производственной документацией. Разработана методика прогнозирования свойств конструкционных материалов для реакторостроения.

Стенд для верификации угловых распределений плотностей потоков меченых нейтронов от генератора нейтронов ИНГ-27

И.С. Левцов, к.ф.-м.н. С.В. Колесников, Е.Э. Лупарь, М.Ю. Мишин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В данной работе представлены результаты разработки стенда для верификации угловых распределений плотностей потоков меченых нейтронов от генератора нейтронов ИНГ-27.

Во время введения в эксплуатацию генератора меченых нейтронов ИНГ-27 из-за малых погрешностей при сборке данного устройства не всегда точно известно угловое распределение пучков нейтронов в пространстве относительно матрицы альфа-детектора. По этой причине была предложена идея по разработке метода для измерения углового распределения меченых нейтронов.

В целях экономии вместо постановки напротив генератора нейтронов детектора, что своей площадью способен перекрыть все углы вылетов меченых нейтронов из генератора, был выбран метод с задействованием передвижного детектора.

Измерения плотностей потоков меченых нейтронов в данной работе производится детекторами нейтронов, сопряжёнными с твердотельным ФЭУ (SiPM), установленными на плате усилителя-формирователя, объединённых механически в жёсткую конструкцию из 36 измерительных ячеек. Профилометр производит измерение плотностей потоков меченых нейтронов путём регистрации совпадений сигналов с измерительных ячеек и пикселей альфа-детектора в составе нейтронного генератора ИНГ-27.

Для перемещения был собран прототип установки габаритами 1200×1200×600 мм, что позволяет перемещать SiPM детектор нейтронов по 3 осям с помощью линейных приводов, что приводятся в движение шаговыми двигателями. Для проверки положения детектора в установке используются датчики расстояния. Для управления 5 шаговыми двигателями был выбран язык программирования G-код/M-код, что специально создан для управления станками ЧПУ и позволяет создать интерфейс пользователя для управления положением детектора. Далее была разработана методика проведения эксперимента, заключающаяся в измерении плотностей потоков меченых нейтронов путём последовательного сдвига измерительного модуля относительно оси потока меченых нейтронов с последующей сшивкой результатов измерения в точках, соответствующих пучкам меченых нейтронов, попавшим одновременно в два последовательных измерения.

По итогу был собран прототип установки позиционирования модуля детектора нейтронов в пространстве для верификации угловых распределений плотностей потоков меченых нейтронов от генератора нейтронов ИНГ-27.

Перспективная ядерно-физическая аппаратура для изучения ближнего космоса

д.ф.-м.н. **М.Л. Литвак**¹, д.т.н. Ю.Н. Бармаков², д.ф.-м.н. В.И. Зверев²,
д.ф.-м.н. И.Г. Митрофанов¹, д.т.н. Д.И. Юрков²

¹ Институт космических исследований РАН – Москва, Россия;

² ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

За последние 30 лет измерительные комплексы, основанные на методах ядерной физики, успешно применялись и продолжают применяться для исследования планет и малых тел Солнечной системы. Благодаря полученным результатам сформировалось такое направление в космической науке, как «Ядерная планетология». С её помощью проводятся исследования на Международной космической станции, изучаются свойства поверхности и радиационная обстановка на Луне, Меркурии и Марсе, малых планетах.

Значительная роль в этих исследованиях принадлежит Российской Федерации. Отечественная наука подготовила и успешно проводит космические эксперименты с помощью различных нейтронных и гамма-спектрометров в ближнем космосе, а также создаёт следующее поколение перспективных ядерно-физических приборов.

К значимым достижениям следует отнести результаты измерений российских приборов ХЕНД и ЛЕНД, которые позволили обнаружить лёд в полярных областях Марса и Луны, используя орбитальное картографирование нейтронного потока с поверхности этих небесных тел, а также наблюдения прибора ДАН, установленного на борту марсохода «Кьюриосити», для измерения содержания подповерхностной воды вдоль

трассы его движения в кратере Гейл. Кроме этого, измерения ДАН были использованы, чтобы оценить вклад нейтронной компоненты радиационного фона на поверхности Марса во время очень сильной солнечной вспышки.

Следует отметить, что научная аппаратура ДАН состоит из блока электроники и детекторов ДАН (ДАН-ДЭ), разработанного в ИКИ РАН, и блока импульсного нейтронного генератора (ДАН-ИНГ), разработанного во ВНИИА, и использует методы нейтронного каротажа для поиска подповерхностной воды. Благодаря успешной работе ДАН была предложена научная аппаратура, получившая название «АДРОН», которая включает в свой состав ещё и гамма-спектрометр для измерения объёмного элементного состава поверхности. Её первая модификация уже слетала в космос в составе станции «Луна-25» и прошла первые лётные испытания на этапе перелёта и на орбите вокруг Луны. Сейчас в ИКИ РАН и во ВНИИА разрабатывается импортозамещенная версия этой аппаратуры, которая будет установлена на борту посадочной миссии «Луна-27» (запуск 2028–2029 гг.). Подобные приборы предполагается использовать и на других посадочных миссиях, предложенных для будущей Федеральной космической программы.

Исследование параметров радиографического контроля гамма-дефектоскопической аппаратуры переносного класса

А.А. Лукьянов^{1,2}, д.т.н. С.П. Масленников¹, к.т.н. А.С. Декопов², С.В. Михайлов²

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия;

² АО «Энергомонтаж Интернэшнл» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты количественной оценки глубококоллимированных систем формирования рабочего пучка излучения, применительно к излучателю на основе радионуклида ^{192}Ir . Представлен комплекс радиографического контроля качества материала локализованно-направленным пучком излучения с системой лазерной навигации в условиях конструктивной стеснённости. Предложена методика стабилизации оптической плотности радиографических снимков стыков вварных трубчатых элементов.

Для решения задачи улучшения качества радиографических снимков при работе аппаратурой с системой глубокой коллимации и минимизации шумовых эффектов в регистрируемой детектором информационной базе данных проведена количественная оценка различных глубококоллимированных систем формирования рабочего пучка.

В целях улучшения чувствительности метода контроля и минимизации шумовых эффектов, обусловленных конструктивной

стеснённостью, и увеличения прецизионности пучка излучения разработан гамма-дефектоскоп шлангового типа, оснащённый корректором с лазерным визиром. А также в данной работе представлен графо-аналитический метод компенсации неравномерности оптической плотности снимка осесимметричного кольцевого сварного стыка с учётом переменных параметров радиационных толщин.

Список литературы:

1. Патент № 2818496 С1 Российская Федерация, МПК G01N 23/18. шланговый гамма-дефектоскоп: № 2023128804: заявл. 08.11.2023: опубл. 02.05.2024 / А.С. Декопов, А.В. Васильев, А.А. Лукьянов [и др.]; заявитель Акционерное общество «ЭНЕРГОМОНТАЖ ИНТЕРНЭШНЛ».
2. Неравномерности оптической плотности радиографических снимков вварных трубчатых элементов теплообменных аппаратов. Метод компенсации в режиме панорамной динамической щелевой радиографии / А.С. Декопов, А.А. Лукьянов, С.В. Михайлов, Т.К. Лобжанидзе // Контроль. Диагностика. – 2023. – Т. 26. – № 11(305). – С. 52–57.
3. Патент № 2791427 С1 Российская Федерация, МПК G01N 23/02. Гамма-дефектоскоп затворного типа: № 2022130129 : заявл. 21.11.2022: опубл. 07.03.2023 / А.В. Васильев, А.С. Декопов, А.А. Лукьянов [и др.]; заявитель Акционерное общество «ЭНЕРГОМОНТАЖ ИНТЕРНЭШНЛ».

Повышение коэффициента экстракции ионов из источника Пеннинга миниатюрного линейного ускорителя

А.Е. Колобов^{1,2}, **И.М. Мамедов**^{1,2}, д.т.н. С.П. Масленников^{1,2}

¹ ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия;

² Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ – Москва, Россия

В работе представлены результаты исследований формирования ионных потоков в миниатюрном линейном ускорителе при использовании магнитных систем с различной степенью неоднородности распределения магнитного поля. По результатам исследований предложены варианты магнитной системы, позволяющие снизить давление газа и повысить коэффициент экстракции ионов при сохранении нейтронного потока.

Источники ионов Пеннинга находят применения в генераторах нейтронов, широко используемых для решения прикладных задач науки, медицины, промышленности и системах безопасности. В настоящее время проходит апробация анализаторов, предназначенных для определения и верификации экранируемых объектов [1–3]. В качестве излучающего устройства в таких аналитических комплексах используется генератор нейтронов, эксплуатируемый в непрерывном режиме длительное время. Поэтому перед разработчиками стоит задача повышения стабильности и ресурса его основных элементов и узлов.

Одним из основных элементов нейтронного генератора является миниатюрный линейный ускоритель (МЛУ), состоящий из источника ионов (ИИ) Пеннинга, ионно-оптической системы (ИОС) и мишени [4]. Извлекаемые из ИИ дейтроны ускоря-

ются в ИОС до энергий $50 \div 100$ кэВ и бомбардируют тритий-содержащую мишень, где в результате ядерной реакции (D-T) образуются нейтроны. Проводимые исследования показывают, что определяющее влияние на характеристики формируемых ионных потоков имеют параметры магнитного поля.

В данной работе проводилось исследование формирования ионных потоков в зависимости от степени неоднородности магнитного поля ИИ Пеннинга. Предложена магнитная система, использование которой позволяет уменьшить разрядные токи, повысить коэффициент экстракции, снизить рабочее давление и тем самым увеличить ресурс ИИ и ускорительных систем на его основе. Практическая апробация предложенной магнитной системы на отпаянном МЛУ продемонстрировала сохранение нейтронного потока.

Список литературы:

1. С.В. Сыромуков, Р.В. Добров и др. // Атомная энергия. – 2014. – Т. 117. – Вып. 6. – С. 350–352.
2. Д.В. Головин, М.И. Мокроусов и др. // Астрон. вестник. – 2021. – Т. 55. – Вып. 6. – С. 542–549.
3. Р.С. Рачков, А.Ю. Пресняков и др. // Атомная энергия. 2019. – Т. 126. – Вып. 6. – С. 334–337.
4. I.M. Mamedov, I.A. Kanshin et al. // Bull. Rus. Acad. Sc. Phys. 2024. V.88. № 4, P. 469–477.

Использование вакуумных коммутаторов с лазерным управлением в мощной импульсной технике

к.т.н. С.Г. Давыдов, **А.А. Матвеев**, к.т.н. В.О. Ревазов, к.т.н. В.П. Селезнев,
М.С. Скоробогатых, к.т.н. Р.Х. Якубов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В работе представлены результаты исследований формирования разряда в вакууме при воздействии лазерного излучения на поверхность металлического катода-мишени. Получены экспериментальные данные по времени формирования тока в миллиметровом зазоре при различных энергиях управления импульсного твердотельного Nd:YAG лазера.

Явление взаимодействия лазерного излучения с поверхностью металлов, приводящее к образованию лазерной плазмы, имеет как научный, так и прикладной интерес. На практике бурное развитие технологий, использующих электрические импульсы высокого напряжения в ёмкостных накопителях энергии, требует создания быстродействующих и надёжных коммутаторов. Перспективным классом управляемых быстродействующих коммутаторов являются разрядники, запускаемые импульсом лазерного излучения, что обусловлено возможностями создания всё более компактных

источников лазерного излучения высокой мощности [1, 2, 3].

В докладе приведены результаты экспериментальных исследований вакуумного разрядника, управляемого твердотельным импульсным лазером с модуляцией добротности, который позволяет получать импульсы излучения длительностью в десятки наносекунд и менее. Цель работы заключалась в исследовании зависимости временных параметров процесса коммутации вакуумного промежутка от энергии лазерного излучения, падающего на катод-мишень.

Список литературы:

1. Асюнин В.И. и др. Процесс коммутации вакуумного разрядника с лазерным управлением // Успехи прикладной физики. – 2014. – Т.2. – № 6. – С. 613–622.
2. Давыдов С. Г. и др. Временные характеристики вакуумного разрядника с лазерным поджигом // Приборы и техника эксперимента. – 2019. – № 6. – С. 56–59.
3. Xin Y., He Z., Liu Y. The effect of laser energy on the initial plasma characteristics of laser-triggered vacuum switch // IEEE Transactions on Plasma Science. 2018. Т. 46. № 8. С. 2954–2958.

Аспекты обработки термолюминесцентных данных при считывании детекторов в системах ИДК

И.В. Мосягина, О.В. Ивкина, С.В. Козлов

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты анализа реализуемых в системах индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) способов считывания и обработки информации, получаемой при использовании термолюминесцентных детекторов (ТЛД). Предложены алгоритмы обработки кривых термовысвечивания, обеспечивающие возможность регистрации малых доз (ниже 10^{-4} Зв). Показаны результаты исследования термокривых, полученных при использовании различных типов ТЛД ($\text{MgB}_4\text{O}_7\text{:Dy}$, LiF:Mg,Ti , $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ и др.).

Термолюминесцентные детекторы остаются наиболее востребованным типом детекторов в области регистрации накопленных индивидуальных эквивалентов доз (ИЭД) при внешнем облучении на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ). Применение ТЛД основано на способности материала накапливать информацию о воздействующем излучении за счёт образования и локализации электрон-дырочных пар, которые способны к высвобождению и последующей аннигиляции только при дополнительной передаче энергии путём нагревания материала. Изучение принципов работы применяемых ИДК выявило отсутствие в узлах считывания ТЛД анализа формы термолюминесцентной кривой высвечивания, снятие сигнала происходит методом суммирования импульсов в определённом диапазоне температур.

В докладе представлены результаты анализа термолюминесцентных кривых высвечивания,

полученных с различных типов ТЛД: $\text{MgB}_4\text{O}_7\text{:Dy}$, LiF:Mg,Ti , $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ и др. Показано, что режимы синтеза термолюминофоров значительно влияют на вид термокривой, в т.ч. области нарастания и спада сигнала, положение пика высвечивания, уровень собственного фона. Проведены исследования по оценке энергетической зависимости чувствительности материала относительно гамма-энергии 662 кэВ. Выявлено изменение термокривых высвечивания в зависимости от энергии облучения.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости анализа вида термокривых различных видов ТЛД для их качественного применения в системах ИДК. Предложены алгоритмы обработки термокривых, обеспечивающие регистрацию низких ИЭД (ниже 10^{-4} Зв). Выполнены исследования различных ТЛД при воздействии гамма-, бета-излучений в диапазоне от 10^{-5} до 15 Зв.

Определение углерода в почве методом меченых нейтронов

к.ф.-м.н. В.Ю. Алексахин^{1,2}, **Е.А. Разинков**^{1,2}, Ю.Н. Рогов^{1,2},
д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников^{1,2}

¹ ООО «Диамант» – Дубна, Россия;

² Объединённый институт ядерных исследований – Дубна, Россия

Обсуждаются результаты определения массовой концентрации углерода в почве. Измерения сделаны на установке, работающей по методу меченых нейтронов, который состоит в облучении образцов быстрыми нейтронами с энергией 14 МэВ и регистрации характеристического излучения γ -квантов от реакций неупругого рассеяния нейтронов в определённых временных диапазонах между испусканием нейтрона и приходом сигнала от γ -кванта.

В условиях изменения климата и повышения уровня CO_2 в атмосфере всё большее внимание уделяется связыванию органического углерода в почве и роли почвы в качестве поглотителя углерода. Известно, что связывание углерода в растениях и почвенных системах даёт возможность смягчить парниковый эффект, при этом взаимосвязь между запасами углерода в почве и фиксацией углерода в естественной и антропогенной растительности остаётся одной из наименее изученных проблем.

Стандартный подход к определению концентрации углерода в почве требует большого и трудоёмкого отбора проб, их подготовки и последующего химического анализа.

Обсуждаются результаты работы нейтронного анализатора почвы (НАП), предназначенного для определения концентрации углерода методом меченых нейтронов.

Установка состоит из нейтронного модуля, который включает в себя портативный нейтронный генератор ИНГ-27 производства ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» со встроенным 9-пиксельным альфа-детектором, систему из 6 гамма-детекторов на основе кристалла BGO, систему сбора данных, системы питания детекторов и нейтронного генератора.

Рассматриваются результаты определения концентрации углерода на территории учебного полигона в г. Ставрополе (СГАУ), полученные во время полевых испытаний.

Конвейерный сепаратор железной руды на основе метода меченых нейтронов

к.ф.-м.н. В.Ю. Алексахин^{1,2}, И.К. Комаров¹, Е.А. Разинков¹,
Ю.Н. Рогов^{1,2}, д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников^{1,2}, к.ф.-м.н. И.Е. Чириков-Зорин^{1,2}

¹ Объединённый институт ядерных исследований – Дубна, Россия;

² ООО «Диамант» – Дубна, Россия

В работе обсуждаются результаты испытаний конвейерного сепаратора железной руды на основе метода меченых нейтронов. Приводится описание конструкции сепаратора, результатов измерений образцов руды и результатов испытаний сепаратора на площадке заказчика.

Создан конвейерный сепаратор железной руды на основе метода меченых нейтронов. Конвейерный сепаратор предназначен для сортировки железной руды по содержанию серы, железа общего и окиси кремния в режиме реального времени, без отбора проб. Сепаратор вырабатывает управляющий сигнал для сортировки руды каждые 60–90 с. Руда, движущаяся по конвейеру, облучается потоком быстрых меченых нейтронов с энергией 14 МэВ. Спектры индуцированного характеристического гамма-излучения анализируются, определяются массовые доли химических элементов в руде, на основе чего подаётся сигнал на исполнительное устройство переключения потоков руды.

Сепаратор состоит из узла перевода потока руды и нейтронного модуля в составе нейтронного генератора ИНГ-27 производства ВНИИА, 14 гамма-детекторов, системы сбора данных, системы питания. Сепаратор допускает эксплуатацию в широком диапазоне температур, от –30 до +35 °С.

Результаты испытаний подтверждают, что сепаратор позволяет производить сепарацию руды по содержанию серы с настраиваемым порогом от 1 % массовой доли серы и выше. Сепаратор без замечаний работал как при температуре +30 °С в летнее время, так и при температуре ниже –25 °С поздней осенью.

Пикосекундный электронно-оптический диссектор для диагностики синхротронного излучения

к.т.н. П.И. Коновалов, к.т.н. А.Ю. Соколов,
к.т.н. Р.Б. Сейфетдинов, **Я.Г. Рыбальченко**

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Во ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» создан пикосекундный диссектор, производство которого осуществляется на технологической платформе финишной сборки методом переноса. Представлены основные характеристики прибора, описан принцип его работы и способы применения, а также базовая технология его изготовления.

Пикосекундный диссектор – фотоэлектронный прибор, предназначенный для диагностики электронных пучков в циклических ускорителях частиц, был изобретён в 80-х годах прошлого века в ИЯФ СО РАН [1]. Изготавливаемые с тех пор металло-стеклянные диссекторы производства НПО «Экран» (ЛИ-602) и ИОФ РАН до сих пор успешно применяются для определения азимутального размера сгустка на накопителе путём измерения длительности импульса синхротронного излучения стробоскопическим методом [2,3].

Во ВНИИА создан металлокерамический диссектор, в составе которого использована электронно-оптическая система хронографического электронно-оптичес-

кого преобразователя ST3001, применяемого в стрик-камере Unistreak [5].

Конструкция диссектора оптимизирована для его изготовления на технологической платформе ВНИИА, в основе которой лежит метод переноса [4]. Применение технологии финишной сборки диссектора методом переноса, внедрение металлокерамического корпуса и фотокатода конденсаторного типа в его конструкции позволяют улучшить технические характеристики и надёжность прибора за счёт снижения уровня загрязнений внутренних поверхностей и вакуумного объёма диссектора, улучшения электрической прочности изоляторов и увеличения проводимости фотокатода.

Список литературы:

1. E.I. Zinin et al., Nucl. Instrum. Methods, 208, 439 (1983).
2. O.I. Meshkov, A.I. Stirin et al. A new station for optical observation of electron beam parameters at electron storage ring SIBERIA-2 // Journal of Instrumentation. 2016. Vol. 11. № 12. DOI: 10.1088/1748-0221/11/12/P12015.
3. D.A. Malyutin et al. The optical dissector bunch length measurements at the Metrology Light Source // Proceedings of the 6th International Beam Instrumentation Conference, IBIC 2017. p. 125-128.
4. A.Yu. Sokolov et al. Streak Tubes for Diagnostics of Lasers and Plasmas // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 747. № 1. DOI:10.1088/1742-6596/747/1/012067.
5. Д.В. Никишин и др. Универсальная стрик-камера для задач физических измерений // Сборник тезисов II Научно-практической конференции Физико-технические интеллектуальные системы ФТИС-2023. – С. 77.

Повышение качества характеристик спектра γ -излучения, измеряемого ксеноновым γ -спектрометром, при воздействии акустической нагрузки

д.ф.-м.н. С.Е. Улин, д.т.н. А.П. Елохин, А.Е. Шустов, **Н.М. Свешников**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В работе анализируется влияние акустических возмущений с амплитудой не менее 120 дБ на работу ксенонового γ -спектрометра (КГС), применяемого в составе беспилотных дозиметрических комплексов (БДК) для экологического мониторинга. Эксперименты выявили систематические погрешности, вызванные воздействием акустического шума, которые сильно искажают спектр. Для минимизации негативных эффектов предложены и успешно протестированы защитные оболочки из пористых материалов и вакуумные камеры, обеспечивающие снижение влияния акустического шума и улучшение энергетического разрешения γ -спектрометров.

Использование БДК, оснащённых КГС, позволяет дистанционно оценивать радиоактивное загрязнение. КГС отличается высоким энергетическим разрешением γ -спектра (1,2 % на линии ^{137}Cs), широким температурным диапазоном работы (от -20 до $+180^\circ\text{C}$) и способностью функционировать без охлаждения до криогенных температур.

Однако акустические нагрузки, возникающие при работе оборудования (в нашем случае, акустический шум от двигателей беспилотника), приводят к уширению пиков полного поглощения, снижению ампли-

туды спектра и, как следствие, к систематическим ошибкам при измерении γ -спектров.

Наиболее эффективными решениями для устранения этих проблем оказались защитные оболочки из пористой резины, а также вакуумные камеры.

Авторами установлено, что предложенные методы позволяют минимизировать негативное влияние акустических возмущений, сохраняя высокую точность. Это открывает новые перспективы для более широкого применения БДК в сложных условиях мониторинга радиоактивного загрязнения.

Список литературы:

1. Родионов И.А., Елохин А.П. Методы оценки радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при использовании беспилотного дозиметрического комплекса // Глобальная ядерная безопасность. – 2022, – № 1 (42) – С. 6–23.
2. Елохин А.П., Улин С.Е., Маджидов А.И., Рахматулин А.Б., Шустов А.Е. Влияния техногенного акустического фона на показания ионизационной камеры при регистрации γ -излучения: Сборник научных статей ПАУТС-2023. – Пенза, 2023. – С. 129–141.
3. Елохин А.П., Улин С.Е., Маджидов А.И., Шустов А.Е. Оценка влияния техногенного акустического фона на показания γ -спектрометра // Глобальная ядерная безопасность. – 2024. – Т. 14. – № 1 (50). – С. 5–16.
4. Лепендин Л.Ф. Акустика. – М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.

Схемотехническое моделирование драйвера лазерных диодов на нормально открытых нитрид-галлиевых транзисторах

А.П. Скрипник, д.ф.-м.н. Э.Я. Школьников, д.т.н. Н.И. Каргин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Представлены результаты схемотехнического моделирования работы регулируемого источника тока для питания линеек диодных лазеров. Исследуются схемы, позволяющие уменьшить колебания тока на нагрузке и выбросы при переходных процессах. Рассматриваются схемы отдельных узлов с учётом возможности использования нормально открытых транзисторов и отечественной компонентной базы.

Полупроводниковые лазерные диоды большой мощности активно используются в современных технологиях, таких как лазерная резка, накачка твердотельных лазеров и т. д. Для питания этих диодов требуются источники тока с большой скоростью реакции на изменение проводимости диода, для защиты от превышения допустимого для них тока. При этом такие источники должны быть достаточно энергоэффективными. На практике для этого используются импульсные понижающие стабилизаторы тока. Выходной ток импульсного стабилизатора имеет пилообразную составляющую, частично сглаживаемую конденсатором. Для защиты лазерных диодов от превышения тока при разряде на них этого конденсатора (при быстром повышении проводимости лазерного диода) используется защитная цепь.

Рассматриваются результаты моделирования схем диодных драйверов с защитой лазерного диода с помощью замыкания диода накоротко через нормально открытый

нитрид-галлиевый транзистор, разрабатываемый при участии авторов в настоящее время. Такой же транзистор используется в качестве силового ключа в этих схемах. Узлы преобразователя спроектированы под применение отечественных компонентов. Показано, что при быстром росте проводимости нагрузки (~мкс) в стандартной схеме понижающего преобразователя наблюдается значительный бросок тока через нагрузку. В схеме с пассивным компенсатором пульсаций [1] из-за падения напряжения на индуктивности компенсатора амплитуда этого импульса снижается. Для схемы «сложенного» стабилизатора [1] выброс тока также оказывается в допустимых пределах. При этом наименьшая величина колебаний тока наблюдается в схеме с пассивным компенсатором пульсаций (0,07 А, при токе через нагрузку 22 А).

Работа выполнена в рамках государственного задания (код научной темы «FSWU-2023-0088»).

Список литературы:

1. Huang C.C. et al. Stacked buck converter: Current ripple elimination effect and transient response // Energies. – 2020. – Т. 14. – № 1. – С. 64.

Автоматизированная система ионно-плазменной обработки газонаполненных нейтронных трубок

Ю.Г. Трифонова

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В работе представлены результаты разработки алгоритма для работы автоматизированной системы ионно-плазменной обработки газонаполненных нейтронных трубок. Исследовались и анализировались параметры для работы данной системы. По результатам исследований производилась проверка работы программы для ионно-плазменной обработки газонаполненных нейтронных трубок.

Газонаполненные нейтронные трубки (ГНТ) широко используются в генераторах нейтронов для выполнения задач различного направления, таких как научные исследования, медицина, нейтронный каротаж. Стабильность работы ГНТ в наибольшей степени определяется электрической прочностью изделия. Одной из причин снижения электропрочности ГНТ является эмиссия электронов из областей ускоряющей системы с повышенной локальной напряжённостью электрического поля, которое наблюдается в местах привнесённых или не до конца удалённых диэлектрических включений и сорбированных газов с поверхностей высоковольтного промежутка ускоряющей системы [1].

Существует метод ионно-плазменной обработки (ИПО) конструктивных элементов трубки [2]. Он реализуется в плазме тлеющего разряда, в котором положительные ионы плазмообразующего газа, бомбардируя поверхность обрабатываемой детали, разрушают оксидные плёнки, гидрокарбонаты и другие поверхностные включения.

В работе проводится разработка алгоритма для метода ИПО и последующее написание программы. Она подразумевает собой возможность управления с компьютера всеми приборами данного стенда одновременно [3], а также предлагает самостоятельную обработку трубок по определённому алгоритму.

Список литературы:

1. Баренгольц Ю.А., Берил С.И. // Журнал технич. физики. – 2013. – Т. 83. – Вып. 9. – С. 121–125.
2. I.A. Kanshin Increasing the Electrical Strength and Operation Stability of a Small-Sized Ion Accelerator // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2024, Vol. 88, No. 4, pp. 618–625. DOI: 10.1134/S1062873823706116.
3. M. Vilponi, J. Zielinski et al. // Review of Scientific Instruments 2024.

Определение оптимальных зондовых расстояний сцинтилляционных детекторов малогабаритной аппаратуры импульсного нейтронного гамма-спектрометрического каротажа АИНК-50С

В.А. Цыденова, С.И. Копылов, А.П. Кошелев

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Работа посвящена поиску оптимальных зондовых расстояний малогабаритной аппаратуры импульсного нейтронного гамма-спектрометрического каротажа АИНК-50С для определения элементного состава горных пород с помощью математического моделирования на основе метода Монте-Карло. Критерием оптимизации выбран максимальный вклад полезного сигнала от породы в общий спектр на фоне вкладов от прибора, скважинной жидкости и обсадки.

В настоящее время во ВНИИА разрабатывается малогабаритная аппаратура импульсного нейтронного гамма-спектрометрического каротажа АИНК-50С, которая позволит проводить высокоточные исследования нефтегазовых скважин малого диаметра. Разработка и внедрение новой малогабаритной аппаратуры расширит возможности мониторинга, оценки минералогического состава горных пород и текущей нефтегазонасыщенности коллекторов в сложных скважинных условиях.

Основное внимание в работе уделено математическому моделированию откликов гамма-излучения неупругого рассеяния и радиационного захвата, полученных в раз-

личных геолого-технических условиях в геометрии расчётной модели «прибор-скважина». Для наилучшего определения элементов горной породы необходимо, чтобы полезный вклад от породы на фоне вкладов от прибора, скважинной жидкости и обсадки в суммарный спектр был как можно больше, а статистика – как можно выше. Таким образом, был выбран критерий для поиска оптимальных зондовых расстояний.

Полученные зондовые расстояния для ближнего и дальнего детекторов прибора могут быть учтены при проектировании конструкции аппаратуры АИНК-50С в качестве рекомендаций.

Определение редкоземельных элементов в водных растворах с помощью нейтронно-радиационного метода

О.В. Чакилев, к.ф.-м.н. С.В. Колесников, С.Г. Рудаков

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты определения редкоземельных элементов (РЗЭ) в водных растворах. Методика нейтронно-радиационного анализа основана на регистрации вторичного гамма-излучения образца, возникающего в реакциях радиационного захвата термализованных нейтронов.

Образец в виде соли редкоземельных элементов растворялся в воде для получения однородного водного раствора. Образец расположен в цилиндрическом контейнере объёмом 300 мл. В качестве источника быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ в установке используется генератор ИНГ-07Т, в качестве гамма-детектора – сцинтилляционный детектор на основе монокристалла $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ размерами $\varnothing 76 \times 76$ мм.

Получены энергетические спектры гамма-излучения радиационного захвата. Затем проанализированы площади чистых пиков редкоземельных элементов с их соответствующими массами в образце. После

корректировки эффекта самопоглощения нейтронов нелинейный отклик между площадью пиков и концентрациями элементов был преобразован в линейный, и калибровочные кривые были использованы для определения состава пробы смеси.

В результате работы была разработана экспериментальная установка, основанная на нейтронно-радиационном методе для возможности обнаружения РЗЭ в фильтрате. Наконец, полученные результаты свидетельствуют о том, что он может быть использован в качестве приемлемого метода обнаружения РЗЭ в фильтрате, образующемся в ходе промышленного процесса.

Определение квантовой эффективности детектора с пластмассовым сцинтиллятором

С.А. Черышов, А.В. Калуцкий, к.ф.-м.н. В.В. Гаганов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

Получено выражение для квантовой эффективности детектора с пластмассовым сцинтиллятором, позволяющее оценить вклад от каждого элементарного процесса, происходящего в детекторе, в отношение сигнал-шум на выходе детектора.

Одним из важнейших параметров, который характеризует работу детектора и определяет качество регистрируемого сигнала, является отношение сигнал-шум. Количественной мерой этого параметра может служить значение квантовой эффективности детектора, которая определяется как отношение среднего значения сигнала на выходе детектора к его погрешности, делённое на отношение среднего значения сигнала на входе детектора к его погрешности. В данном случае под сигналом на входе детектора понимается некоторое случайное число

частиц, а под сигналом на выходе – число электронов, достигающих анода ФЭУ или ФЭК. Для того чтобы оценить квантовую эффективность детектора, необходимо рассчитать статистические флуктуации выходных сигналов с использованием априорного знания об элементарных процессах, участвующих в формировании сигнала. Расчёт флуктуаций наиболее удобно проводить, основываясь на каскадной модели преобразования излучения в выходной сигнал детектора.

Математическая модель формирователя импульсов ускоряющего напряжения для вакуумной нейтронной трубки

С.Н. Шмелев¹, Р.И. Бутов¹, д.т.н. С.П. Масленников^{1,2}, к.т.н. А.К. Дулатов¹

¹ ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия;

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В работе описаны результаты разработки математической модели формирователей импульсов ускоряющего напряжения для вакуумных нейтронных трубок. Приводится описание метода построения нестационарных вольтамперных характеристик нейтронных трубок, на основе которых удалось достичь наилучшей сходимости экспериментальных и расчётных данных, полученных с помощью математической модели.

Импульсные нейтронные генераторы (ИНГ) на основе вакуумных нейтронных трубок (ВНТ) применяются в медицине, каротаже нефтяных скважин, элементном анализе вещества [1–4]. ИНГ состоит из излучателя нейтронов, кабельных линий связи, блока питания и управления. Формирователь импульсов ускоряющего напряжения (ФИУН) в излучателе нейтронов строится на основе высоковольтного импульсного трансформатора. Разработка новых излучателей нейтронов производства ВНИИА [5] с улучшенными эксплуатационными характеристиками требует разработки математической модели ФИУН для ВНТ.

При разработке импульсного питания ВНТ актуальной задачей является выбор

электротехнических параметров трансформатора, обеспечивающих согласованный режим ускорения плазменных потоков [6], генерируемых в ионном источнике ВНТ. Согласованный режим ускорения плазменных потоков обеспечивает наилучшую энергетическую эффективность работы ИНГ, что позволяет увеличить ресурс и уменьшить габариты существующих ИНГ. Для решения данной задачи была разработана математическая модель ФИУН, работающего с нелинейной нагрузкой в виде ускоряющего промежутка ВНТ, которая учитывает экспериментальные вольтамперные характеристики ВНТ [7].

Список литературы:

1. Г.И. Кирьянов: Генераторы быстрых нейтронов. – М: Энергоатомиздат, 1990.
2. В.М. Литяев, А.А. Лычагин и др.: Сб. тез. конф. Портативные генераторы нейтронов и технологии на их основы. – М: ВНИИА им. Н.Л. Духова, 2012. – С. 26.
3. Ю.Н. Бармаков, В.И. Зверев и др. Основы ядерно-физических методов исследования скважин. – М: Буки Веди, 2021.
4. Д.А. Рябухин // Экстремальная робототехника. – 2020. – № 1(31). – С. 314-320.
5. Е.П. Боголюбов, В.И. Рыжков и др.: Сб. тез. конф. «Портативные генераторы нейтронов и технологии на их основе». – М: ВНИИА, 2013. – С. 15–18.
6. С.П. Масленников // Вестник НИЯУ «МИФИ». – 2017. – Т. 6, – № 6. – С. 485–491.
7. С.Н. Шмелев, В.М. Ермаков и др.: Сб. тез. конф. ФТИС-2024. – Тамбов: ООО «Изд. Юлис». – 2024. – С. 93.

Для заметок:

Для заметок:

IV Научно-практическая конференция
«Физико-технические интеллектуальные системы»
(ФТИС-2025)

Сборник тезисов

Составители:
И.Г. Кулло, С.П. Масленников, Е.В. Рябева

Верстка, дизайн: Д.Ю. Жуков
Корректор: А.В. Жукова

ISBN 978-5-98662-195-1



Подписано в печать 18.01.2025
Формат 210×297. Печать цифровая. Бумага офсетная
Тираж 150 экз. Заказ № 276244

Отпечатано в типографии ООО «Издательство Юлис»
392010, г. Тамбов, ул. Монтажников, 9
Тел.: +7 (4752) 756-444
www.yulis.ru
info@yulis.ru



Национальный
исследовательский
ядерный университет
МИФИ



Институт
физико-технических
интеллектуальных систем
(ИФТИС) НИЯУ МИФИ



ВНИИА
РОСАТОМ

ФГУП «Всероссийский
научно-исследовательский
институт автоматики
им. Н.Л. Духова»