



III Научно-практическая конференция

**Физико-технические
« интеллектуальные системы »**

ФТИС - 2024

Сборник тезисов



2024



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»



III Научно-практическая конференция
«Физико-технические интеллектуальные системы»
(ФТИС-2024)

Сборник тезисов

ООО «Издательство Юлис»
2024

УДК 004.89:[53:681.518.3+621.039]

ББК 32.973

НЗ4

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

НЗ4 **III Научно-практическая конференция «Физико-технические интеллектуальные системы» (ФТИС–2024): Сборник тезисов.** – Тамбов: ООО «Издательство Юлис», 2024. – 96 с.

ISBN 978-5-98662-186-9

Сборник содержит тезисы докладов III Научно-практической конференции «Физико-технические интеллектуальные системы» (ФТИС–2024), которая пройдёт в НИЯУ МИФИ (г. Москва) 6–8 февраля 2024 года.

Организаторами конференции выступают НИЯУ МИФИ и ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова».

В рамках НПК ФТИС–2024 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. Также рассматривается применение интеллектуальных систем в космических экспериментах, ядерной медицине, геофизике, исследования 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 978-5-98662-186-9

© НИЯУ МИФИ, 2024

© ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», 2024

© Коллектив авторов, 2024

Место и даты проведения конференции

НИЯУ МИФИ
115409, г. Москва, Каширское ш., д. 31
6-8 февраля 2024 г.

Организаторы конференции



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»

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

Пленарное заседание	12
Секция	
«Информационно-измерительные и управляющие системы»	16
Разработка информационно-аналитической распределенной системы управления мелкосерийным производством (Е.В. Анисимов, А.И. Максимкин)	17
Устройство быстрого прототипирования миниатюрных моточных изделий и экспериментальных вихретоковых измерительных преобразователей (Н.А. Байметов, А.И. Максимкин)	18
Методика определения рабочих параметров для системы резонансной спектроскопии газовой смеси в герметичном объеме (Д.Д. Баландин, А.И. Максимкин).....	19
Система автоматизированного входного контроля технических характеристик ультразвуковых измерительных преобразователей (И.М. Баныкин, А.И. Максимкин)	20
Визуализация радиационной обстановки в системе интеллектуальной поддержки управляющих решений при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов (к.т.н. А.А. Болотов, к.ф.-м.н. В.П. Крючков, к.м.н. Е.Н. Жирнов, д.м.н. В.Г. Барчуков, д.т.н. В.Н. Клочков, А.С. Галузин, Е.В. Клочкова, И.К. Теснов).....	21
Индикаторы и критерии радиационных рисков для радиационного мониторинга 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).....	22
Сравнение методов выбора структур программно-технических комплексов при проектировании средств автоматизации промышленного применения (Е.С. Воробьева, к.т.н. В.О. Лебедев)	23
3D-визуализация радиационной обстановки методом оптических аналогий в программе Blender при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов (к.ф.-м.н. В.П. Крючков, к.м.н. Е.Н. Жирнов, к.т.н. А.А. Болотов, д.м.н. В.Г. Барчуков, А.С. Галузин, И.К. Теснов, д.т.н. В.Н. Клочков, Ю.Н. Брагин).....	24

Устройство контроля радиоактивных веществ при стравливании газоаэрозольной смеси под давлением (В.В. Герасименко , А.А. Перышкин, С.А. Погорелый, к.ф.-м.н. Д.А. Молодцев).....	25
Динамические библиотеки для автоматизации управления измерительными и воспроизводящими приборами (С.Н. Груздев , А.В. Кудрявцев, Ю.А. Парышкин, К.М. Аспидов, Д.А. Родионов, Н.И. Савин).....	26
Радиочастотная система дистанционного мониторинга состояния защитных контейнеров с контролем динамически изменяющихся параметров (к.т.н. С.П. Дорохов , А.С. Прахов, А.С. Салов).....	27
Резонансная дефектоскопия в топливных элементах (И.А. Загзин , В.С. Белов).....	28
Разработка приёмника авиационных сигналов АЗН-В (Д.Д. Картавец , В.В. Флоренцев).....	29
Визуализация участка сборки и контроля ТВС РУ БРЕСТ-ОД-300 с использованием технологий виртуальной реальности (к.т.н. А.О. Толоконский, Д.Г. Ковалёнок).....	30
Ультразвуковая измерительная система контроля чистоты гелия в твэлах реакторов на быстрых нейтронах (Р.А. Козлов , к.т.н. Б.Ф. Ануфриев, С.П. Мартыненко).....	31
Применение стратегий расширенного управления для управления сложными и опасными объектами управления (С.В. Епифанов, Г.В. Колибас , к.т.н. А.О. Толоконский).....	32
Применение адаптивных методов для прогноза радиационной обстановки (А.Ю. Комаров , к.б.н. А.Г. Цовьянов).....	33
Изучение возможностей платформы pSeven для проведения многовариантных расчетов по коду ТРАП-КС (А.Д. Коробейников).....	34
Разработка системы автоматического регулирования транспортной энергетической установки (Д.А. Корчагин).....	35

Разработка и внедрение систем промышленной сейсмической защиты реакторных установок АЭС (к.т.н. О.А. Герасимчук, к.т.н. Г.С. Засимов, к.т.н. Ю.А. Краев , к.т.н. А.М. Пищимов, А.Ю. Эльтеков)	36
Технические решения по системе управления затвора первого зеркала и системе дистанционной калибровки диагностики «Активная спектроскопия» (Н.М. Комаров, А.В. Кудрявцев , Ю.А. Парышкин).....	37
Перспективное использование методов искусственного интеллекта в производственной деятельности ФГУП «ВНИИА» (д.ф.-м.н. С.Е. Куратов)	38
Разработка средств загрузки CSV-файлов в БД с эвристическим анализатором (к.т.н. А.А. Евстифеев, М.В. Макаревич).....	39
Моделирование пресс-формы и создание технологии литья под давлением для интеллектуального счётчика электроэнергии (В.А. Макарова , В.В. Флоренцев)	40
Цифровая модель канала системы сбора и обработки данных диагностики ДМНП (А.С. Астафьев, Е.С. Мартазов , Ю.А. Парышкин, В.А. Федоров).....	41
Интеллектуальное управление режимом «Н» автоматического регулятора мощности реактора ВВЭР-1200 (Д.С. Маслаков , С.С. Правосуд, Я.О. Якубов)	42
Изменение структуры и параметров учебного контента при управлении процессом обучения по уровневой дисциплине «Информатика» (Н.В. Бударрагин, О.Н. Густун, Ю.К. Лавдина, Э.И. Масыгутов)	43
Опыт разработки в АО «НИКИЭТ» средств контроля нейтронно-физических параметров ядерных реакторов различного назначения (к.т.н. С.И. Александров, С.И. Крюков, И.В. Новиков)	44
Интеграция задачи расчета технико-экономических показателей АСУ ТП в верхний уровень АСУП (Ю.В. Осетров , к.т.н. В.О. Лебедев)	45
О перспективах внедрения физико-технических интеллектуальных устройств и систем для контроля радиационной безопасности воздушной среды в режиме реального времени (к.х.н. М.Р. Попченко , к.б.н. А.Г. Цовьянов)	46

Математическая модель гибридного регулятора для системы стабилизации летательного аппарата (к.ф.-м.н. Н.А. Первушина, А.Е. Порывкин).....	47
Обзор технологических заделов в области семантического веба с целью выбора подхода к реализации «интернета активов» (А.С. Рассомагин)	48
Применение метода обратного шага как инструмента синтеза управления нелинейными системами (Д.В. Рязанов).....	49
Интеллектуализация автоматизированных систем физической защиты. Основные направления (д.т.н. В.А. Пожидаев, к.т.н. Д.А. Скворцов , к.т.н. С.И. Журин, К.Д. Уркаева, А.В. Борушнова).....	50
Методы реализации разнообразия в программно-технических средствах управляющих систем безопасности АЭС (С.Ю. Гриценко, к.т.н. В.В. Зверков, И.А. Стародубцев).....	51
Создание инфраструктуры для интеллектуальных приборов учёта в системе СПОДЭС (А.А. Ташчян , В.В. Флоренцев)	52
Контроль тепловых перемещений трубопроводов при помощи системы компьютерного зрения (к.ф.-м.н. Е.Л. Матвеев, А.Л. Матвеев, М.С. Черкасова , А.Ю. Мишенин)	53
Опыт применения суперкомпьютерных технологий при решении ядерно-физических задач, а также перспективы их развития (д.ф.-м.н., член-корр. РАН Р.М. Шагалиев).....	54
Разработка электронной системы пилотажных приборов ЭСПП (Ф.В. Шеламов , В.В. Флоренцев)	55

Секция

«Киберфизическое, электрофизическое и ядерное приборостроение»56

Определение концентрации изотопа ^{10}B в воде с помощью нейтронно-радиационных методов анализа (М.И. Бабич, И.В. Урупа).....	57
Исследование высокочастотной компоненты сигналов детекторов системы внутриреакторного контроля (Н.О. Блохин, Д.Н. Скорыходов, В.А. Мильто).....	58
Исследование дозиметрических свойств синтезированных образцов искусственных гидроксиапатитов (ГАП) для использования их в дозиметрии методом ЭПР спектрометрии (В.П. Пантелькин, П.П. Ганцовский, А.Г. Цовьянов)	59
Анализ технических тенденций развития систем радиационного контроля (д.т.н. С.Б. Чебышов, д.т.н. И.И. Черкашин, А.С. Гордеев, А.А. Иванов, Р.А. Насибуллин, Е.М. Ветошкин)	60
Применение инженерно-экономического подхода при конструировании элементов систем радиационного контроля (д.т.н. С.Б. Чебышов, А.С. Гордеев, А.А. Иванов, А.В. Калинин).....	61
Исследование свойств полупроводниковых детекторов на основе кремния и арсенида галлия (В.Г. Голубев, М.Д. Дерябина, А.В. Редкоус).....	62
Устройство и методика измерений герметичности ВЗК манометрическим методом (С.Н. Крючков, А.И. Тихонов, Ю.И. Жукаева, А.Е. Красин)	63
Исследовательский стенд по измерению объёмной активности изотопа ^{16}N , образующегося при взаимодействии быстрых нейтронов с проточной водой (Р.Ф. Ибрагимов, к.ф.-м.н. Е.В. Рябева, д.т.н. С.Б. Чебышов, В.А. Кишев, С.В. Ткачев)	64
Возможность применения анализатора CAEN DT5740D при анализе данных в быстропротекающих процессах (к.ф.-м.н. С.В. Колесников, к.ф.-м.н. В.Ф. Батяев, О.В. Чакилев, С.Г. Рудаков, к.ф.-м.н. Н.В. Бойко).....	65

Проблема обеспечения радиационной безопасности персонала при работе с источниками ионизирующего излучения высокой энергии (Е.А. Корнева , А.В. Комаров, А.Г. Цовьянов, В.Е. Журавлева, Н.К. Мазурин)	66
Опыт применения аддитивных технологий при конструировании изделий ядерного приборостроения (А.А. Королев)	67
Алгоритм идентификации спектральных линий в образцах горных пород (В.А. Крысанов , И.С. Левцов, к.ф.-м.н. С.В. Колесников)	68
Сегнетоэлектрические материалы для киберфизических систем (к.ф.-м.н. Д.В. Кузенко , Н.А. Спиридонов, С.С. Омелянович, И.Л. Сидак)	69
Зависимость эффективности регистрации детектора LaBr_3 от энергии гамма-квантов в диапазоне энергий от 0,025 до 15 МэВ (И.С. Левцов , к.ф.-м.н. С.В. Колесников)	70
Автоматизация процесса определения элементного состава горных пород методом нейтронно-радиационного анализа (В.А. Леднев , О.В. Чакилев, к.ф.-м.н. С.В. Колесников)	71
О механизме генерации нейтронов в камерах инерциального электростатического удержания плазмы (д.т.н. Б.Д. Лемешко , И.А. Прокуратов, к.т.н. Ю.В. Михайлов)	72
Применение метода меченых нейтронов для элементного анализа железной руды (к.ф.-м.н. В.Ю. Алексахин, А.И. Личкунова , Е.А. Разинков, Ю.Н. Рогов, д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников)	73
Влияние вторичных процессов на потоки частиц в миниатюрном линейном ускорителе (М.С. Лобов , И.А. Каньшин)	74
Моделирование глубококоллимированной системы формирования пучка излучения дефектоскопов затворного типа и количественная оценка параметров рабочих пучков излучения по фактору «сигнал/шум» (А.А. Лукьянов , д.т.н. С.П. Масленников, к.т.н. А.С. Декопов, С.В. Михайлов)	75
Исследование способов улучшения отношения эффект/фон в устройствах с мечеными нейтронами (А.Д. Мазницин , д.ф.-м.н. М.Д. Каретников)	76

Исследование режимов зажигания разряда в малогабаритном ионном источнике Пеннинга (И.М. Мамедов , д.т.н. С.П. Масленников).....	77
Экспериментальные исследования разряда в газовой среде, инициированного излучением оптического диапазона (к.т.н. С.Г. Давыдов, А.А. Матвеев , к.т.н. В.О. Ревазов, к.т.н. В.П. Селезнёв, М.С. Скоробогатых, к.т.н. Р.Х. Якубов)	78
Создание калибровочного источника гамма-излучения с энергией 6,13 МэВ (М.Ю. Мишин , Р.Ф. Ибрагимов, к.ф.-м.н. Е.В. Рябева, д.т.н. С.Б. Чебышов, В.А. Кишев).....	79
Программно-техническая реализация алгоритма работы постов радиационного контроля АСКРО при различных режимах работы АЭС (д.т.н. С.Б. Чебышов, Р.А. Насибуллин , А.С. Гордеев, М.В. Орлов, И.А. Ащеулов, К.Ю. Кротов).....	80
Новая металлокерамическая трубка для малогабаритной каротажной аппаратуры на базе генератора нейтронов типа ИНГ-08 (Н.С. Носиков , к.т.н. С.В. Сыромуклов).....	81
Генератор нейтронов на базе камеры инерциального электростатического удержания плазмы (И.А. Прокуратов , к.т.н. Ю.В. Михайлов, д.т.н. Б.Д. Лемешко, к.ф.-м.н. И.В. Ильичев, к.т.н. А.К. Дулатов, О.Д. Тюпина)	82
Определение элементного состава полиметаллических руд методом меченых нейтронов (к.ф.-м.н. В.Ю. Алексахин, Е.А. Разинков , Ю.Н. Рогов, д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников).....	83
Скважинная аппаратура импульсного нейтрон-нейтронного каротажа с генератором 2,5 МэВ нейтронов (М.В. Ревякин , А.Э. Яшканова)	84
Использование метода меченых нейтронов для сортировки лома огнеупорных материалов (к.ф.-м.н. В.Ю. Алексахин, А.И. Личкунова, И.К. Комаров, Е.А. Разинков, Ю.Н. Рогов , д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников)	85
Спектральные характеристики лабораторных изотопных нейтронных источников на основе плутония (к.ф.-м.н. Е.В. Рябева , д.т.н. С.Б. Чебышов, И.В. Урупа, Р.Ф. Ибрагимов).....	86

Анализаторы элементного состава вещества на основе метода меченых нейтронов (д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников).....	87
Измерение потока быстрых нейтронов спектрометрическим стендом на основе органического сцинтиллятора (И.В. Урупа , Р.Ф. Ибрагимов, к.ф.-м.н. Е.В. Рябева, М.И. Бабич).....	88
Импульсный нейтронно-радиационный метод исследования скважин малогобаритным прибором для определения пористости горных пород (В.А. Цыденова , С.И. Копылов, А.П. Кошелев).....	89
Элементный анализ образцов никелевой руды нейтронно-радиационными методами (О.В. Чакилев , к.ф.-м.н. С.В. Колесников, С.Г. Рудаков).....	90
Практическая метрология ионизирующего излучения: текущее состояние и задачи развития (д.т.н. С.Б. Чебышов , А.В. Журавлев, П.И. Солодских).....	91
Сепаратор железной руды на основе метода меченых нейтронов (Е.В. Зубарев, И.К. Комаров, Е.А.Разинков, Ю.Н. Рогов, д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников, О.Г. Тарасов, И.Е. Чириков-Зорин).....	92
Исследование вольтамперных характеристик вакуумных нейтронных трубок (С.Н. Шмелев , В.М. Ермаков, Р.И. Бутов, к.т.н. А.К. Дулатов, д.т.н. С.П. Масленников)....	93



Пленарное заседание

Председатель программного комитета конференции –
Шевченко Владимир Игоревич,
доктор физико-математических наук,
ректор НИЯУ МИФИ

Проблемы цифровизации предприятий Госкорпорации «Росатом»

д.т.н. **Е.М. Абакумов**

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» – Москва, Россия

Сверхширокополосные источники электромагнитных импульсов микроволнового и терагерцового диапазонов на основе фотоэлектронной эмиссии

д.ф.-м.н., член-корр. РАН **С.В. Гарнов**

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН – Москва, Россия

Перспективы развития реакторных установок в России

д.т.н., акад. РАН **Ю.Г. Драгунов**

АО «НИКИЭТ» – Москва, Россия

Перспективы и задачи развития АСУ ТП АЭС

д.т.н. **В.Л. Кишкин**, к.т.н. А.Д. Нарич, С.Ю. Гриценко

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

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

Перспективы исследования планет Солнечной системы

д.ф.-м.н. **М.Л. Литвак**, д.ф.-м.н., И.Г. Митрофанов
Институт космических исследований РАН – Москва, Россия

Анализаторы элементного состава вещества на основе метода меченых нейтронов

д.ф.-м.н. **М.Г. Сапожников**
ООО «Диамант» – Дубна, Россия

Проблемы и задачи ядерной медицины

д.ф.-м.н., акад. РАН **В.П. Смирнов**
АО «Наука и инновации» – Москва, Россия

Практическая метрология ионизирующего излучения: текущее состояние и задачи развития

д.т.н., **С.Б. Чебышов**, А.В. Журавлев, П.И. Солодских
АО «СНИИП» – Москва, Россия

Опыт применения суперкомпьютерных технологий при решении ядерно-физических задач, а также перспективы их развития

д.ф.-м.н., член-корр. РАН **Р.М. Шагалиев**
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

Вопросы подготовки специалистов для приборостроительных предприятий Госкорпорации «Росатом»

д.т.н. **Д.И. Юрков**, д.т.н., проф. Ю.Н. Бармаков

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

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия



Секция

« Информационно-измерительные
и управляющие системы »

Председатель секции -
Кишкин Владимир Львович,
доктор технических наук,
заведующий кафедрой №2 НИЯУ МИФИ,
первый заместитель главного конструктора -
начальник научно-производственного комплекса 1
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»

Разработка информационно-аналитической распределенной системы управления мелкосерийным производством

Е.В. Анисимов, А.И. Максимкин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

В работе описывается процесс разработки и внедрения методики и информационно-технических средств учета устройств на этапах мелкосерийного производства. Основная задача – разработка системы, позволяющей отслеживать статус каждого изделия по серийному номеру на различных этапах его сборки, проверки или обслуживания на производстве.

Предлагаемый подход обеспечивает прозрачное мониторинговое покрытие всех стадий изготовления продукта: от начального этапа разработки до финального выпуска на рынок. Система предоставляет возможность оперативного выявления и устранения проблем на любой стадии, что способствует повышению эффективности рабочего процесса.

Такая явная идентификация становится неценимым инструментом для сотрудников и управленцев предприятия в решении технических и организационных вопросов, минимизируя задержки в производственном цикле и ускоряя вывод готовой продукции на рынок.

Разработанная и внедряемая информационно-аналитическая распределенная система управления мелкосерийным производством реализует следующие функции:

1. Введение системы для отслеживания статуса устройств с конкретным серийным номером на всех этапах мелкосерийного производства через серийные номера;

2. Эффективный мониторинг прогресса сборки изделий, готовности партии устройств к отгрузке и обеспечение непрерывности производственного цикла;

3. Реализация методики для ускоренного выявления проблем, возникающих на различных этапах изготовления, с целью их устранения;

4. Оперативное предоставление информации о стадии готовности продукта и текущих задачах для сотрудников предприятия;

5. Интеграция современных информационных технологий для повышения прозрачности и управляемости процессов производства;

6. Минимизация простоев и задержек в выпуске продукции благодаря непрерывному контролю над производственными операциями;

7. Содействие более эффективному управлению запасами и ресурсами, необходимыми для производства;

8. Повышение общей эффективности мелкосерийного производства и сокращение времени вывода продукта на рынок.

Устройство быстрого прототипирования миниатюрных моточных изделий и экспериментальных вихретоковых измерительных преобразователей

Н.А. Байметов, А.И. Максимкин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Проблема сборки вихретоковых преобразователей и других моточных изделий в экспериментальных целях требует достаточно много времени и усилий, особого внимания к качеству, что должно приводить к получению ожидаемых характеристик от преобразователя. В работе представлено решение проблемы быстрого прототипирования моточных изделий в лабораторных условиях.

В текущей экспериментальной практике в лабораторных условиях намотка катушек часто осуществляется вручную, что приводит к увеличению времени изготовления и снижению точности соответствия характеристик изделия.

Целью проекта является реализация концепции автоматизированного устройства для создания моточных изделий в рамках проекта по исследованию конструкционных материалов оболочек ТВЭЛ вихретоковым методом.

Вихретоковый метод контроля сплошности металлов и сплавов обладает высокой чувствительностью и позволяет обнаруживать малые дефекты как на поверхности металла, так и в его толще. Однако такая высокая чувствительность приводит к высоким требованиям к качеству и точности технических характеристик вихретоковых преобразователей.

В рамках поставленной задачи разработано компактное устройство быстрого прототипирования миниатюрных экспериментальных вихретоковых измерительных

преобразователей. Устройство позволяет значительно ускорить процесс намотки преобразователей по заданным геометрическим параметрам, повысить качество и репродуцируемость преобразователей благодаря точному контролю количества витков, равномерности натяжения и плотности укладки провода. Преследуемые преимущества включают в себя снижение трудозатрат и производственных издержек, а также улучшение конкурентоспособности товаров на рынке. В докладе рассматриваются технические аспекты разработки, включая механизмы управления, программное обеспечение и возможности интеграции в существующее оборудование.

В докладе также будут освещены основы вихретоковой дефектоскопии и то, как выбор характеристик катушек, включая их геометрические размеры, количество витков и материал провода, влияет на чувствительность и диапазон применения вихретоковых датчиков в устройствах неразрушающего контроля.

Методика определения рабочих параметров для системы резонансной спектроскопии газовой смеси в герметичном объёме

Д.Д. Баландин, А.И. Максимкин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В работе рассматривается задача определения предельных значений целого ряда параметров, связанных с предварительной настройкой частотных диапазонов и чувствительности к определенным компонентам газовой смеси с целью оптимизации задачи ультразвуковой спектроскопии газового состава в процессе выходного контроля изделий, выпускаемых серийно.

Метод ультразвуковой спектроскопии газового состава является быстрым, точным и, что очень важно для изделий с требованием по герметичности, неразрушающим методом анализа газовых смесей. Сам метод основан на том, что различные газы по-разному влияют на скорость распространения и поглощение ультразвуковых волн, что позволяет дифференцировать каждый компонент смеси, а также определить его процентное содержание или концентрацию.

Трудности возникают, когда исследование проводится на готовом изделии, где на картине ультразвуковой спектроскопии также появляются другие отражающие звук конструкционные элементы, которые,

в силу погрешности изготовления или подвижности, вносят значительные недетерминированные искажения. Для повышения качества результатов применения метода необходимо внедрение методик, позволяющих повысить возможности выделения полезных сигналов на фоне шумовых.

В рамках проекта в качестве объекта контроля использовались твэлы реакторов типа БН, где выполнено внедрение новой методики в уже существующее экспериментальное оборудование. Получены результаты экспериментального исследования эффективности данной методики и сравнение его с другими возможными решениями.

Система автоматизированного входного контроля технических характеристик ультразвуковых измерительных преобразователей

И.М. Баныкин, А.И. Максимкин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В работе представлен процесс реализации и результаты разработки системы автоматизированного входного контроля технических характеристик ультразвуковых измерительных преобразователей. Разработана методика входного контроля ультразвуковых преобразователей, алгоритмы программного обеспечения.

Закупаемые промышленные ультразвуковые измерительные преобразователи обладают достаточно высокой степенью качества, а производитель гарантирует их работоспособность в течение определенного срока службы. Однако, несмотря на технические требования к таким изделиям, встречается брак в партии с вероятностью 5–7%, что приводит к существенным потерям при необходимости замены такого преобразователя в уже собранном устройстве в условиях серийного производства, на этапах выходного контроля или гарантийного возврата от конечного пользователя.

Предлагаемая методика обеспечивает автоматизированную проверку работоспособности, соответствия технических характеристик и выявления брака ультразвуковых преобразователей на основе исследования и анализа их собственных амплитудно-частотных характеристик.

Конструктивно система позволяет проводить быструю замену измерительных преобразователей на штатных разъемах в соответствии с методикой входного контроля.

Система предоставляет возможность своевременного выявления неисправных измерительных преобразователей, что способствует повышению качества и уменьшению числа неисправных устройств, в которых используются ультразвуковые измерительные преобразователи.

Интеграция современных информационных технологий в области потоковой обработки сигналов с использованием современных вычислительных и электронных средств в значительной степени повысит эффективность в процессах входного контроля.

Внедрение системы автоматизированного входного контроля в технологический процесс сборки и производства конечных устройств значительно повысит их надежность и качество, снизив вероятность брака конечных устройств до показателя менее 1%, что приведет к значительному снижению издержек производства.

Визуализация радиационной обстановки в системе интеллектуальной поддержки управляющих решений при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов

к.т.н. **А.А. Болотов**, к.ф.-м.н. В.П. Крючков, к.м.н. Е.Н. Жирнов, д.м.н. В.Г. Барчуков, д.т.н. В.Н. Клочков, А.С. Галузин, Е.В. Клочкова, И.К. Теснов

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

Рассматриваются вопросы визуализации радиационной обстановки в системе интеллектуальной поддержки принятия управляющих решений (СИППУР) по радиационно-гигиеническим вопросам обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов.

Вывод из эксплуатации (ВЭ) является конечным этапом существования радиационно опасных объектов (РОО). Визуализация радиационной обстановки при ВЭ РОО должна обеспечивать поддержку соблюдения норм обеспечения радиационной безопасности и безопасного проведения всех работ на данном объекте.

В задачи визуализации входят следующие основные вопросы: визуализация радиационной обстановки (РО) на РОО на основе расчетных или измеренных данных, в помещениях и сооружениях такого объекта, на прилегающих территориях, визуализация оптимальных маршрутов перемещения персонала, путей возможной эвакуации персонала, определение зон на топографической карте, где время пребывания ограничено, определение зон, где персонал может укрыться, определение зон на топографической карте, в которых радиационная обстановка известна с наибольшей неопределенностью и где необходимы дополнительные измерения и т.п.

Для решения такого комплекса задач целесообразно использовать геоинформа-

ционную систему (ГИС), которая имеет развитые средства обработки и анализа пространственных данных с использованием различных координатных систем, позволяет использовать базы пространственных данных, информацию об объекте и окружающей среде, обладает большими возможностями визуализации данных в 2D-3D форматах, позволяет встраивать свои программы в ее окружение для дополнительного анализа РО.

С учетом вышеизложенного для визуализации РО в системе поддержки управляющих решений была выбрана ГИС – QGIS (относится к системам с открытым исходным кодом), интегрированная с системой управления базами данных PostgreSQL и расширениями Postgis и PgRouting. На этой основе созданы цифровая модель и цифровая карта местности возле объекта, подлежащего выводу из эксплуатации, разработаны собственные плагины, виджеты в QGIS и программы для обработки данных, которые дополняют возможности ГИС при анализе РО.

Индикаторы и критерии радиационных рисков для радиационного мониторинга 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

Предложены количественные и качественные индикаторы и трехуровневые критерии радиационных рисков для проведения радиационного мониторинга на территориях, обслуживаемых ФМБА России. Существующая система обработки накопленных персоналом и населением годовых доз из радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий дополнена оперативными данными о радиационной обстановке, что позволит оперативно реагировать на изменения ситуации, оценивать и сопоставлять радиационные риски от различных радиационных факторов в динамике.

В связи со вступлением в действие Федерального закона от 31.07.2020 г. № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» проведена корректировка концепции радиационного мониторинга с введением индикаторов и критериев радиационного риска (РР).

Индикаторы и критерии РР – это показатели, отражающие состояние защищенности персонала и населения на территориях, обслуживаемых ФМБА России, от негативного воздействия радиационных факторов, а также состояние готовности медицинских подразделений и формирований ФМБА России к ликвидации последствий радиационной аварии либо инцидента.

Предложены как количественные, так и качественные трехуровневые критерии риска для оценки функционирования объектов использования атомной энергии (ОИАЭ),

обслуживаемых ФМБА России, исходя из выполняемых ФМБА России функций. Применение таких критериев в системе мониторинга РР позволяет упростить алгоритм реагирования на возникающие в процессе работы ОИАЭ угрозы путем выстраивания реакции системы с использованием интегральных индикаторов в формате светофора («риск приемлемый» – «риск, требующий вмешательства» – «риск неприемлемый»).

Создаваемая комплексная система позволяет выполнять как мониторинг прямых последствий облучения (используя оперативные индикаторы), так и прогноз отдаленных последствий – выхода злокачественных новообразований (анализируя годовые дозы).

Дополнительно для контингента, проживающего на загрязненных территориях, предлагаются «иммунологические» индикаторы и критерии риска развития канцерогенных эффектов облучения.

Сравнение методов выбора структур программно-технических комплексов при проектировании средств автоматизации промышленного применения

Е.С. Воробьева, к.т.н. В.О. Лебедев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Выбор методики проектирования технических средств автоматизации промышленного применения является неотъемлемым этапом разработки АСУ ТП. Наиболее широкое применение в вопросах выбора схмотехнического решения электронных средств получил функционально-модульный принцип разработки. В этом случае ставится задача выбора необходимых готовых модульных решений и задания их последовательности – компоновки. При принятии решений компоновки состава сложных технических систем применяются различные методы. В работе представлено сравнение метода анализа иерархий и метода структуры компоновочного вектора в качестве варианта реализации системного подхода к проблемам выбора схмотехнического решения при разработке ПТК.

Проводя анализ стандартных реализуемых операций в процессе разработки технических средств автоматизации промышленного применения, можно выделить стандартные структурные блоки таких систем: «сигналы ввода-вывода», «обработка информации», «обмен данными» и другие. При этом реализация конкретных операций функциональными блоками неизменна, несмотря на использование различных интерфейсов связи, требований к быстродействию, количеству и составу сигналов. Совокупность набора блоков формируется в библиотеку, применение которой является распространенным методом проектирования различных ПТК. Такой функционально-модульный принцип разработки, несмотря на частоту применения, не лишен недостатков, поскольку отражает общие требования и повторно реализует примененные ранее решения. Применение

объектно-ориентированного проектирования позволяет сопоставить реализацию функционального модуля (или его части) объекту в библиотеке данных, сводя выбор методики схмотехнического проектирования ПТК к установке соотношения между выбранными объектами из библиотеки и их компоновкой. При разработке сложно-составных устройств и комплексов необходимо учитывать не только требования к разрабатываемому устройству, но и количество объектов, их свойства и так далее. Определение критериев оптимальности в процессе компоновки объектов состава сложных технических систем осуществляется различными методами. В работе рассматриваются и сопоставляются метод анализа иерархий и метод структуры компоновочного вектора при решении задачи выбора состава компонентов в процессе разработки схмотехнического исполнения ПТК.

3D-визуализация радиационной обстановки методом оптических аналогий в программе Blender при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов

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

В тезисах рассматривается использование программы Blender для 3D-моделирования радиационной обстановки с помощью встроенных модулей на основе оптических аналогий при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов.

Характеристика радиационной обстановки (РО) при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов в реальности может быть очень сложной задачей. При этом визуализация РО должна обеспечивать реалистичное, легкое для понимания и детальное изображение.

Главной целью расчётов и визуализации РО является оценка дозы, которую получит исполнитель при разных сценариях выполнения операций. Визуализация с использованием программы Blender возможна двумя методами.

Первый метод – традиционный, при котором Blender используется только для ввода исходных данных и визуализации сценариев. Расчёты проводятся в программе Python или на других языках программирования в своих прикладных программах. Второй подход заключается в том, чтобы максимальный объем вычислений выполнять в программе Blender, а программу Python использовать в случае необходимости: при вводе исходных данных и выводе результатов расчета в программе Blender. Во втором случае выигрыш заключается в том, что вычисления в Blender оптимизированы и выполняются гораздо быстрее.

Во втором методе также не нужно проводить дополнительные расчёты, а используется аналогия прохождения видимого света и ионизирующего излучения через вещество. Вместо расчетов мощности дозы требуется настройка поглощающих, отражающих и преломляющих свойств среды, а при визуализации РО используется оптический аналог светового поля.

За основу можно взять инструмент «wavelength» в программе Blender. Он позволяет изменять цвет изображения в зависимости от указанной во входных данных длины волны в нанометрах. Каждому нуклиду можно приписать свои длины волн в соответствии с энергией испускаемых гамма-квантов. В отличие от радиометрии, где датчик устанавливается в точке, в которой мы собираемся измерить мощность дозы, в Blender 3D-чувствительным элементом является камера, которая может не совпадать с точкой детектирования. При этом мы можем оперировать двумя величинами: освещенностью и экспозицией. Для такого подхода мощность дозы связывается с освещенностью в модели, которая характеризует световое поле в интересующей нас точке.

Устройство контроля радиоактивных веществ при стравливании газоаэрозольной смеси под давлением

В.В. Герасименко, А.А. Перышкин, С.А. Погорелый, к.ф.-м.н. Д.А. Молодцев
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

Устройство контроля радиоактивных веществ относится к области радиометрии и может быть использовано для дистанционного контроля концентраций альфа-бета-радиоактивных веществ в газовом потоке магистрали стравливания при проведении работ на радиационно опасных участках.

Для обеспечения требований экологической безопасности при проведении радиационно опасных работ с сосудами под давлением, содержащими газоаэрозольную смесь (ГАС), проводится стравливание ГАС из объема сосудов. Избыточное давление в сосуде снижается до значений ниже атмосферного, при этом попадание радиоактивных веществ (РВ) в атмосферу недопустимо.

Первичная очистка ГАС проводится блоками керамических фильтров, что практически исключает попадание РВ в атмосферу. В процессе стравливания необходимо проводить периодический радиометрический контроль фильтров на предмет обнаружения РВ.

В случае возникновения аварийных ситуаций, при которых выход ГАС в атмосферу помещений проведения работ неизбежен, существенно увеличивается риск переоблучения персонала. Для контроля уровня облучения персонала необходимо регистрировать наличие РВ при стравливании ГАС под давлением (до шести атмосфер).

В связи с этим, а также по причине отсутствия необходимого для решения данной задачи оборудования, была разработана и изготовлена система контроля радиоактивных веществ при стравливании ГАС под давлением и отработана методика дистанционного контроля концентраций радиоактивных веществ.

Одним из основных элементов системы контроля является устройство, представляющее собой герметичный сосуд с блоками детектирования ионизирующих излучений внутри корпуса, а также электронным оборудованием, закрепленным снаружи корпуса. Данное устройство может быть размещено в непосредственной близости от сосуда под давлением, подвергаться воздействию внешних воздействующих факторов, таких как температура, давление, влажность, и обеспечивать проведение непрерывного мониторинга стравливаемых газов в течение длительного времени.

По результатам работы получен патент № 2750682 на изобретение «Радиометрическая установка».

Динамические библиотеки для автоматизации управления измерительными и воспроизводящими приборами

С.Н. Груздев¹, А.В. Кудрявцев¹, Ю.А. Парышкин¹,
К.М. Аспидов², Д.А. Родионов², Н.И. Савин²

¹ Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ – Москва, Россия;

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

В докладе рассмотрены способы проектирования динамически подключаемых библиотек для широкого класса измерительных и воспроизводящих приборов. Предложены методы унификации построения программного кода с использованием свободно распространяемых библиотек. Рассмотрены способы предварительной проверки библиотек без использования приборов.

Для организаций, использующих контрольно-измерительную технику, является актуальной автоматизация взаимодействия оператора с приборами. Ручное управление приборами занимает много времени и требует регистрации измерительной информации с экрана прибора на бумаге или ручного ввода информации в компьютер для последующей обработки результатов измерений. Автоматизация управления приборами с помощью программных библиотек способна существенно упростить и ускорить выполнение оператором измерительных процедур.

Удобство использования динамических библиотек в значительной степени опреде-

ляется интерфейсами функций библиотек. Предлагаемые интерфейсы способны обеспечить баланс между простотой задания настроек базовых параметров приборов и выполняемыми ими функциями.

Значительная часть современных приборов имеет встроенные команды или библиотеки управления прибором по внешним интерфейсам. Отличаясь в наборах команд, они имеют схожую структуру, что позволяет придерживаться одних и тех же методов построения программного кода, используя их для реализации в библиотеках различных приборов и их эмуляторах. Более подробно эти и другие аспекты рассматриваются в докладе.

Радиочастотная система дистанционного мониторинга состояния защитных контейнеров с контролем динамически изменяющихся параметров

к.т.н. **С.П. Дорохов**, А.С. Прахов, А.С. Салов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

Представлена радиочастотная система дистанционного мониторинга состояния защитных контейнеров с контролем динамики изменения температуры в зоне контроля заданного параметра. Показана техническая реализация системы на основе транспондеров, обеспечивающих передачу информации о совокупности воздействующих факторов в момент проведения опроса.

Одной из важнейших задач при эксплуатации и обращении с опасными веществами является организация мер безопасности обслуживающего персонала. Разработка системы радиочастотной идентификации и дистанционного мониторинга состояния защитных контейнеров (ЗК) направлена на решение данной задачи.

При возникновении нештатных ситуаций особенно важна оперативность получения актуальной информации о состоянии изделия, находящегося в ЗК, которую обеспечивает применение бесконтактной системы дистанционного мониторинга. В этом случае вся необходимая информация считывается с безопасного для обслуживающего

персонала расстояния с энергонезависимого транспондера, установленного на каждом ЗК. Таким образом, можно оценить состояние упакованного груза без вскрытия ЗК и принять необходимые меры по обеспечению безопасности.

Одним из важнейших параметров состояния упакованного груза, требующего постоянного контроля, является температура внутри ЗК в зоне размещения объекта защиты. В данной работе представлена техническая реализация радиочастотной системы дистанционного мониторинга с возможностью контроля динамики изменения температуры в области ее контроля.

Резонансная дефектоскопия в топливных элементах

И.А. Загзин, В.С. Белов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Представлено исследование зависимости смещения собственных частот от геометрических размеров дефекта и местоположения дефекта. Поиск наиболее информативных частот для определения наличия дефекта. Оценка пределов чувствительности метода.

Ядерная энергетика играет значительную роль в обеспечении мировых энергетических потребностей, а основой функционирования ядерных реакторов является использование ядерного топлива на основе топливных таблеток из диоксида урана. Таким образом, качество этих таблеток напрямую определяет эффективность работы реактора и безопасность его эксплуатации. В связи с этим, контроль дефектности ядерного топлива становится ключевой задачей, требующей разработки точных и надежных методик.

Актуальность данной проблемы обусловлена необходимостью усовершенствования существующих и разработки новых методов контроля качества ядерного топлива.

В данной работе основной фокус направлен на использование ультразвуковой резо-

нансной спектроскопии для обнаружения дефектов в топливных таблетках из диоксида урана. Этот метод предположительно позволит обнаружить не только внешние, но и внутренние дефекты, которые традиционные методы (визуальный контроль, контроль размеров) обнаружить не могут.

Основным преимуществом данного метода является его относительная простота в получении первичных данных с использованием бесконтактных методов возбуждения и регистрации колебаний образцов.

Результаты данного исследования представляют собой важный вклад в область науки и могут быть полезными для специалистов в области ядерной энергетики, а также для исследователей, занимающихся вопросами контроля качества ядерного топлива.

Разработка приёмника авиационных сигналов АЗН-В

Д.Д. Картавец, В.В. Флоренцев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В данной работе рассматривается разработка приёмника авиационных сигналов АЗН-В, необходимого для приема и обработки сигналов, используемых в авиационной навигации. Доклад охватывает основные этапы процесса разработки данного приемника, включая аппаратную и программную части приемника.

Актуальность данной работы заключается в отсутствии АЗН-В приёмника, который по своим параметрам не уступал бы зарубежным аналогам. Сигналы АЗН-В передаются в 30-см диапазоне длин волн, поэтому для работы на УВЧ используются микрополосковые линии.

Устройство включает в себя усилитель, микрополосковый фильтр, детектор и мик-

роконтроллер. После усиления и фильтрации сигнал проходит через логарифмический детектор, с помощью которого происходит демодуляция сигнала, обработка которого происходит на микроконтроллере. Программная часть включает в себя декодирование кода Манчестер-II для последующего вывода сообщения на ЖКИ дисплей.

Визуализация участка сборки и контроля ТВС РУ БРЕСТ-ОД-300 с использованием технологий виртуальной реальности

к.т.н. А.О. Толоконский, **Д.Г. Ковалёнок**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

При изготовлении ТВС используются установки контроля для обеспечения качества и безопасности продукции на всех этапах производства. Они включают в себя различные испытания и проверки, которые позволяют убедиться в соответствии ТВС требованиям проекта и стандартам безопасности, отсутствии дефектов и брака в материалах и компонентах ТВС, правильности сборки и соединения всех элементов ТВС, соответствии ТВС заданным параметрам по мощности, тепловым нагрузкам, радиационной безопасности и другим характеристикам. Установки контроля также позволяют выявить и исправить возможные проблемы на ранних этапах производства, что снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций в будущем.

В настоящее время для подготовки специалистов в области ядерной энергетики используются технологии виртуальной реальности, которые позволяют обучаемому непосредственно окунуться в среду своей деятельности, произвести обучение максимально приближенное к реальным условиям, при этом не причинив вреда своему здоровью. Для того чтобы изготовить тепловыделяющую сборку (ТВС), необходимо на этапе производства пройти ряд установок контроля, подтверждающих качество и безопасность. Авторами была предложена разработка виртуального тренажера с установками контроля ТВС для РУ БРЕСТ-ОД-300, такими как: отмывка и сушка ТВС, контроль герметичности ТВС, контроль поверхностной загрязненности ТВС, контроль массы и входимости ТВС в ступень, контроль геометрии ТВС.

Данный тренажер разрабатывался в среде Unity с использованием очков виртуальной реальности Oculus. Результаты визуализации участка контроля позволяют производить проверку внешнего вида ТВС на наличие дефектов и повреждений, измерения массы и длины ТВС, а также проверку на герметичность, отсутствия утечек и загрязненности.

Разработанная система позволяет производить обучение специалистам, работающим в атомной отрасли по производству ядерных энергетических устройств. Достоинство данной разработки заключается в том, что она максимально приближена к технологиям реального оборудования, мобильна и не требует больших экономических затрат. Также она обеспечивает высокий уровень радиационной безопасности и в будущем может быть внедрена в центры по подготовке персонала в атомной промышленности.

Ультразвуковая измерительная система контроля чистоты гелия в твэлах реакторов на быстрых нейтронах

Р.А. Козлов, к.т.н. Б.Ф. Ануфриев, С.П. Мартыненко

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

Представлена ультразвуковая измерительная система контроля чистоты гелия внутри твэлов ядерных реакторов на быстрых нейтронах без нарушения их герметичности. Изложены основные принципы измерений, основанные на регистрации параметров резонансных колебаний твэла в широком диапазоне частот. Приведены технические характеристики разработанной системы.

Решению проблемы замыкания ядерного топливного цикла в России способствуют вводимые в эксплуатацию и проектируемые реакторы на быстрых нейтронах типа БН и БРЕСТ, в которых обрабатываются новые конструкции тепловыделяющих элементов. К числу важнейших контрольных операций в готовых твэлах относят контроль содержания примесных газов во внутритвэльной среде, заполненной гелием. В настоящее время такой контроль осуществляется выборочно методом прокола твэла, что не обеспечивает стопроцентную гарантию качества производимой продукции.

Предлагаемый метод контроля степени чистоты гелия заключается в анализе спектра резонансных колебаний оболочки твэла в широком диапазоне частот с помощью введенного параметра, названного «рельефностью». Проведенные эксперименты показали, что изменение состава газа внутри твэла, характеризующее степень чистоты гелия, приводит к уменьшению добротности оболочки за счет ее демпфирования таблетками через газовый зазор. Рельефность, пропорциональная усредненной добротности резонансных пиков в выбранной полосе частот, является информативным парамет-

ром при контроле чистоты гелия в твэле без нарушения его герметичности.

В состав информационно-измерительной системы, в которой реализуется ультразвуковой резонансный метод, входит измерительный узел с исследуемым твэлом, в котором с помощью пьезопреобразователей осуществляют возбуждение и регистрацию резонансных колебаний оболочки. Управление работой информационно-измерительной системы обеспечивается персональным компьютером, подключенным к блоку сопряжения (БС) через USB-порт. В состав БС входят: синтезатор частот, связанный с возбуждающим пьезодатчиком, программируемый усилитель, соединенный с пьезоприемником, а также блоки детектирования и оцифровки регистрируемых сигналов. Задание режимов работы всех блоков измерительной системы, сбор и обработка данных и выдача заключения о чистоте гелия в твэле осуществляется с помощью специального ПО, написанного на языке структурного программирования LabVIEW. Элементы управления измерительной системой и информационное табло выведены на лицевую панель виртуального инструмента, представленного на мониторе компьютера.

Применение стратегий расширенного управления для управления сложными и опасными объектами управления

С.В. Епифанов, **Г.В. Колибас**, к.т.н. А.О. Толоконский

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

В работе рассмотрены возможности применения методов оптимального управления с наблюдателем состояния для управления сложными и опасными объектами управления как альтернатива классическим законам управления.

В настоящее время на некоторых АЭС применяется классическая стратегия управления контурами систем управления. Однако, из-за применения фиксированных коэффициентов, трудоемкой, дорогой и сложной процедуры настройки классический ПИД-подход не всегда возможно применить для успешного управления сложной динамической системой. Кроме того, прогресс в вычислительных технологиях и цифровой обработке данных дает возможность для применения новых передовых методов управления. Стратегии расширенного управления используют расчетные оценки будущих последствий текущих управляющих действий, а не текущих последствий в классическом управлении.

Управление с обратной связью – это управление, которое использует состояния системы для установления закона управления при регулировании системы. Получение полной информации о состояниях системы является необходимым условием для реализации управления с обратной связью. Получить входные и выходные данные, а также информацию о некоторых состояниях системы можно с помощью датчиков. Однако, некоторые состояния системы невозможно измерить с их помощью. Вместо

датчиков для оценки состояний системы можно использовать наблюдателя состояния. Например, плотность предшествующих запаздывающих нейтронов и реактивность не поддаются измерению на АЭС, но с помощью интегрированного наблюдателя можно выполнить оценку неизмеряемых параметров.

Оптимизация – это наука о максимизации или минимизации целей, и она требует измерения производительности. При оптимизации целевая функция или функция стоимости определяется для системы в соответствии с мерой математически сформулированных критериев эффективности. В общем, задачи оптимального управления обычно представляют собой задачу динамической оптимизации с ограничениями, поскольку ограничения представляют собой системные уравнения, которые являются дифференциальными уравнениями. Основная цель оптимального управления состоит в том, чтобы определить управляющие сигналы, которые заставят процесс управления удовлетворять некоторым физическим ограничениям и в то же время максимизировать или минимизировать выбранный критерий производительности.

Применение адаптивных методов для прогноза радиационной обстановки

А.Ю. Комаров, к.б.н. А.Г. Цовьянов

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

В докладе представлены результаты анализа и прогноза временного ряда данных объемной активности (ОА) радиоактивных аэрозолей методом сингулярного спектрального анализа («Гусеница», SSA). Представлены результаты прогнозов, оценка отклонения прогнозов, определена допустимая длина прогноза временного ряда данных ОА на производстве.

Адаптивными называются методы прогнозирования, позволяющие строить самокорректирующиеся (самонастраивающиеся) математические модели, которые способны оперативно реагировать на изменение условий путем учета результата прогноза, сделанного на предыдущем шаге, и учета различной информационной ценности уровней ряда. При обработке временных рядов, как правило, наиболее ценной бывает информация последнего периода, так как необходимо знать, как будет развиваться тенденция, существующая в данный момент, а не тенденция, сложившаяся в среднем на всем рассматриваемом периоде.

Адаптивные методы позволяют учесть различную информационную ценность уровней временного ряда и не требуют условия стационарности и каких-либо априорных знаний и предположений о его свойствах.

Метод SSA основан на преобразовании одномерного временного ряда в многомерный с помощью параметрической сдвиговой процедуры, с последующим применением к многомерному временному ряду метода главных компонент.

Целью данной работы являлся адаптивный анализ и прогноз временных рядов данных по объемной активности на производстве ТВЭЛ.

Изучение возможностей платформы rSeven для проведения многовариантных расчетов по коду ТРАП-КС

А.Д. Коробейников

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

Работа посвящена проблеме оптимизации расчетных процедур на основе ПК ТРАП-КС, который применяется для обоснования безопасности реакторных установок (РУ) ВВЭР. Программный код обладает рядом особенностей в части формирования и редактирования файлов исходных базовых наборов данных, обработки данных с использованием математических моделей.

Для решения проблемы оптимизации расчетных процедур на основе ПК ТРАП-КС использовалась платформа rSeven, которая способна на:

- автоматизацию сложных процессов проектирования продукта и интеграцию любого внешнего программного обеспечения и данных в единый рабочий процесс;
- решение инженерных задач с помощью полного набора инструментов для исследования проектирования и прогнозного моделирования.

Тестирование возможностей платформы rSeven проводилось на примере расчетов исходного события с разрывом паропровода РУ ВВЭР проекта АЭС-2006.

В работе апробированы различные математические модели, доступные в платформе rSeven. Показано, что использование платформы rSeven позволило сократить время полного анализа аварийного режима с двух недель до 4 дней без ущерба с точки зрения количества расчетных вариантов.

Разработка системы автоматического регулирования транспортной энергетической установки

Д.А. Корчагин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

В работе рассматривается вопрос разработки системы автоматического регулирования (САР) транспортной энергетической установки. Корректное функционирование таких сложных установок невозможно без создания САР. Важным фактором при разработке является учёт особенностей строения и функционирования всей установки.

Создание САР является неотъемлемой частью многих сложных систем, в том числе и транспортных энергетических установок. Системы автоматического регулирования на транспортных энергетических установках обеспечивают поддержание с определенной точностью заданного состояния процессов или протекание этих процессов по определенному закону без непосредственного участия человека. Использование установок в жёстких условиях выдвигает ряд строгих требований для всех составляющих систем, в том числе и для САР.

Любая система автоматического регулирования включает устройство, создающее воздействие под влиянием какого-либо параметра, устройство для передачи воздействия и исполнительный орган, выполняющий функции регулирования.

Принцип работы САР охватывает почти все устройства как главных, так и вспомога-

тельных механизмов установки, что приводит к возможности комплексной автоматизации всей энергетической установки.

Основной задачей работы является создание системы автоматического регулирования с улучшенными показателями качества регулирования, устойчивости с учетом развития современной цифровой техники.

В ходе работы проведён анализ и исследование объекта регулирования, выявлены особенности функционирования, которые нужно учитывать при дальнейшей разработке. Разработана предварительная версия структуры САР.

На дальнейших этапах работы планируется разработка модели и алгоритмов функционирования САР, проведение моделирования и наладки. Разработанная САР будет иметь практическое применение в составе транспортной энергетической установки.

Разработка и внедрение систем индустриальной сейсмической защиты реакторных установок АЭС

к.т.н. О.А. Герасимчук, к.т.н. Г.С. Засимов, к.т.н. **Ю.А. Краев**,
к.т.н. А.М. Пищимов, А.Ю. Эльтеков

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

Федеральные нормы проектирования сейсмостойких атомных электростанций (АЭС) НП-031-01 устанавливают требования к обеспечению безопасности наземных АЭС с реакторами всех типов при сейсмических воздействиях. В соответствии с указанными нормами на АЭС должны быть проведены антисейсмические предупредительные и защитные мероприятия, заключающиеся в обеспечении автоматической аварийной остановки реактора при землетрясениях заданной интенсивности.

Для выполнения поставленных задач, а также обеспечения безопасного функционирования АЭС в условиях сейсмической активности необходимо создание системы сейсмометрического контроля и сигнализации, связанной с системой аварийной защиты реактора.

Авария на АЭС «Фукусима» в 2011 году показала актуальность создания и внедрения на АЭС систем сейсмической защиты реакторных установок.

В настоящих тезисах доклада представлены результаты разработок ФГУП «ВНИИА» систем индустриальной сейсмической защиты реакторных установок, предназначенных для автоматической регистрации сейсмического воздействия на уровне подошвы здания реакторной установки, а также на удалении, до прихода сейсмических волн на АЭС и проведения их испытаний.

ТПТК181 – система сейсмической защиты реакторных установок, предназначена для формирования сигнала на автоматическую аварийную остановку реактора при сейсмическом воздействии на грунт, соответствующем проектному землетрясению,

а также для автоматической регистрации колебаний датчиков на уровне подошвы здания реакторной установки в соответствии с НП-031-01.

ТКПС5 – система сейсмического мониторинга и удаленной предупредительной защиты реакторных установок АЭС, предназначенная для формирования команды на автоматическую аварийную остановку реактора при удаленном сейсмическом воздействии, соответствующем проектному землетрясению, до прихода сейсмических волн на АЭС.

В 2015 году системы ТПТК181 были установлены на шести исследовательских реакторах НИИ атомных реакторов в г. Дмитровград, которые эксплуатируются до настоящего времени.

Опыт эксплуатации, а также необходимость использования в критически важных областях промышленности отечественных разработок показали, что дальнейшее развитие систем сейсмического мониторинга должно быть связано с переходом на аппаратную платформу российского производства.

Технические решения по системе управления затвора первого зеркала и системе дистанционной калибровки диагностики «Активная спектроскопия»

Н.М. Комаров, **А.В. Кудрявцев**, Ю.А. Парышкин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Рассматриваются результаты разработки технических решений для системы управления затвора первого зеркала и системы дистанционной калибровки в соответствии с требованиями и утверждёнными ИТЭР документами, содержащими аппаратную архитектуру системы контроля и управления диагностики «Активная спектроскопия», а также результаты тестирования разработанных решений на макете системы управления с использованием оборудования и программного обеспечения, которое заложено в проекте системы.

В диагностике «Активная спектроскопия» регистрируются спектры оптического излучения, которое возникает при взаимодействии ядер легких примесей в плазме с инжектированным в плазму диагностическим пучком атомов водорода. По полученным спектрам излучения рассчитываются параметры, необходимые для контроля и исследования физики плазмы.

Для поддержки выполнения основной функции система сбора данных и управления в составе диагностики «Активная спектроскопия» должна обеспечивать выполнение ряда дополнительных функций, в частности: дистанционное управление подсистемой затвора первого зеркала, а также дистанционное управление процедурой контроля и калибровки системы транспортировки света и процедурой оптической калибровки спектрометров по длинам волн.

Общие требования к системам управления затвором первого зеркала и дистанционной калибровки:

– открытие/закрытие затвора первого зеркала и включение/выключение калибровочных источников света должны производиться удаленно и независимо из программы управления промышленного компьютера;

– сигналы конечных выключателей, расположенных на двигателе привода затвора, и сигналы от датчиков освещенности должны передаваться в систему сбора данных для реализации алгоритмов управления.

При выполнении работы предложены и проверены технические решения по указанным выше системам. Результаты представлены в докладе.

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

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

В докладе изложены разрабатываемые методы искусственного интеллекта для применения в производственной деятельности ФГУП «ВНИИА».

Первым объектом исследований является профессиональная надежность персонала, выполняющего особо ответственные ручные операции, которая определяется функциональным состоянием специалистов. Для его оценки могут применяться дистанционные методы регистрации частоты сердечных сокращений и частоты дыхания, определение направления взгляда при предъявлении стимульного материала (айтрекинг), изучение динамики центра тяжести при предъявлении тестовых заданий (стабилометрия), а также анализ мимики и жестов в реальном времени как возможная характеристика девиантных форм поведения. Повышение точности оценки достигается за счет применения инструментов машинного обучения, дополняющего стандартные алгоритмы анализа психофизиологических данных. Предлагаемые методы внедряются в разрабатываемую перспективную систему предсменных, внутрисменных и периодических осмотров персонала для решения задачи надежного прогнозирования функционального состояния работника в ходе рабочей смены и оценки риска его критического снижения.

Вторым объектом применения методов машинного обучения является импульсный нейтронный гамма-спектрометрический каротаж (ИНГК-С).

Особенность подхода заключается в том, что тренировка прогнозирующих алгорит-

мов производится при помощи базы данных моделированных измерений ИНГК-С. При создании последней были использованы разработанные на ФГУП «ВНИИА» программные пакеты, осуществляющие расчёты нейтронных ядерных реакций, а также моделирующие цикл работы нейтронного генератора и функционирование измерительного тракта скважинного прибора ИНГК-С.

Одним из важных этапов подготовки нейтронной трубки к дальнейшей эксплуатации является проверка качества её работы путем проведения ряда технических процедур с целью исключить дефектные устройства.

В ходе исследовательской работы был реализован ряд архитектур машинного обучения для детектирования аномалий и предсказания поведения трубки на следующем шаге технических испытаний.

Также был разработан прототип системы интеллектуального контроля операций при сборке сложных изделий на основе машинного обучения. В процессе разработки были исследованы различные архитектуры нейросетей, применяющихся в компьютерном зрении, разработаны методики создания датасетов для обучения нейросетевых моделей, обучены различные модели (детекции объектов, детекции ключевых точек, классификации объектов).

Разработка средств загрузки CSV-файлов в БД с эвристическим анализатором

к.т.н. А.А. Евстифеев, **М.В. Макаревич**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

Работа посвящена разработке программного продукта для сбора и анализа информации из текстовых файлов. Разработанный программный продукт позволит выделять структуру данных файла, создавать на основе этой информации таблицы данных в СУБД, а также анализировать полученный массив данных при помощи эвристического анализатора.

Целью работы является разработка программного продукта для сбора информации из файлов формата CSV, загрузки их в базу данных и анализа полученного массива данных.

Для выполнения работы необходимо на языке Java разработать парсер для обработки CSV-файлов, учитывающий аномалии, которые потенциально могут присутствовать в файле, например: использование различных видов кавычек, некорректный перенос строки. Кроме того, парсер должен иметь возможность работать с различными кодировками и разделителями, применяющимися в формате CSV.

Также необходимо разработать сервер БД для создания таблиц на основе полученного в ходе разбора CSV-файла массива

данных. Основой для разработки может стать реляционная СУБД Derby, предназначенная специально для встраивания в приложения, написанные на языке Java. Таблицы, создаваемые сервером, не должны иметь ограничений по длине, должны оперировать нужными форматами данных и корректно отражать данные, полученные из CSV-файла.

Полученное приложение позволит упростить работу с данными, хранящимися в файлах формата CSV, извлекать данные из файлов, имеющих определённые повреждения. В перспективе приложение может быть дополнено графическим интерфейсом, интеллектуальным анализатором содержимого файлов и расширением списка форматов исходных файлов.

Моделирование пресс-формы и создание технологии литья под давлением для интеллектуального счётчика электроэнергии

В.А. Макарова, В.В. Флоренцев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Доклад посвящен моделированию пресс-формы и созданию технологии литья под давлением для интеллектуального счетчика электроэнергии. В настоящее время проект не имеет аналогов по технологическим возможностям и стоимости в стране.

В рамках этого доклада рассмотрен процесс моделирования деталей для эргономичного производства и соответствия заданным техническим условиям. Создана точная трехмерная модель пресс-формы, учитывая все необходимые параметры и материалы. Рассмотрена технология литья под давлением как наиболее эффективный способ производства корпусов из пластика.

В результате применения усовершенствованной технологии улучшены произ-

водственные процессы и обеспечено эффективное производство. Это позволит снизить издержки производства, повысить качество продукции и увеличить конкурентоспособность на рынке.

Работа будет полезна специалистам в области производства деталей литьём, проектированием пресс-форм, а также всем, кто интересуется разработкой и оптимизацией производственных процессов в промышленности.

Цифровая модель канала системы сбора и обработки данных диагностики ДМНП

А.С. Астафьев, **Е.С. Мартазов**, Ю.А. Парышкин, В.А. Федоров

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

Для нейтронной диагностики «Диверторный монитор нейтронного потока» (ДМНП) международного проекта ИТЭР разработана и исследована цифровая модель канала системы сбора и обработки данных (ССД). Рассматриваются структура и функции канала, представлены модели его основных компонентов и результаты моделирования работы измерительных трактов канала при различных входных воздействиях и параметрах обработки сигналов.

ССД принимает и обрабатывает сигналы узлов детектирования с ионизационными камерами деления (ИКД) различной чувствительности и типа с вычислением мощности и нейтронного выхода термоядерной установки ИТЭР. Система содержит 18 идентичных каналов сбора и обработки данных, каждый из которых включает несколько измерительных трактов, основанных на различных способах обработки сигнала ИКД.

Цифровая модель канала реализована в пакете MATLAB и включает следующие модели:

- усилители-преобразователи сигналов в измерительных трактах;
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- цифровая предварительная обработка сигналов в программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС);
- цифровая обработка в программе промышленного компьютера.

Исследование модели канала проводилось при воздействии как детерминированных, так и случайных сигналов, получаемых от модели ионизационной камеры деления. Определялись статические и динамические

характеристики измерительных трактов, оценивались систематические погрешности преобразования сигналов и неопределенности, связанные со статистической природой регистрации нейтронов в ИКД. Результаты проведенных модельных экспериментов позволили подтвердить предварительные расчетные оценки характеристик канала, а также выбрать параметры обработки сигналов, которые обеспечивают выполнение заданных требований по диапазону измерений, точности и быстродействию ССД.

Разработанная модель может быть использована при построении цифрового двойника диагностики ДМНП. При этом модели обработки сигналов аналоговой части канала, АЦП и ПЛИС, реализованные в MATLAB, достаточно легко трансформируются в код языка Python или C++, а в качестве модели обработки сигналов в ПК используется готовый код программы системы сбора и обработки данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Частного учреждения «Проектный центр ИТЭР» в рамках договора № 17706413348230000070/10-23/01 от 05.04.2023 г.

Интеллектуальное управление режимом «Н» автоматического регулятора мощности реактора ВВЭР-1200

Д.С. Маслаков¹, С.С. Правосуд^{1,2}, Я.О. Якубов¹

¹ Северский технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» – Северск, Россия;

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

В работе представлен сравнительный анализ классического ПИ-регулятора (PI) с нечетким регулятором (FLC) и нечетким ПИ-регулятором (F-PI), включенными в контур системы автоматического регулирования мощности РУ ВВЭР-1200. Такая САР включает в себя математическую модель шагового электромагнитного привода, уточненную математическую модель 12 группы ОР СУЗ, нелинейную модель динамики реактора, представленную в форме пространства состояний, и обобщенную математическую модель детекторов нейтронного потока.

Ядерный реактор представляют собой нелинейный объект, сложность управления которым создается из-за изменений его технологических параметров, вызванных выгоранием топлива, температурными обратными связями, отравлением и шлакованием, а также другими возмущениями. При этом неопределенности в сигналах исполнительного механизма и зашумленные измерения датчиков нейтронного потока еще больше усложняют задачу проектирования системы управления. Как следствие, традиционные ПИ и ПИД-регуляторы часто не могут обеспечить требуемые показатели качества процесса управления и устойчивость системы автоматического регулирования мощности. %

Одним из возможных решений данной проблемы является использование нечетких регуляторов, которые широко используются для систем, где трудно или невозможно определить точное значение технологических параметров. В данной работе представ-

лен нечеткий регулятор, а также нечеткий ПИ-регулятор, которые обеспечивают как режим астатического поддержания мощности, так и варьирование мощности в диапазоне 10–100% от ее номинального значения. В качестве объекта управления используется верифицированная математическая модель реактора ВВЭР-1200 со сосредоточенными параметрами, включающая в себя модель точечной кинетики нейтронов, а также теплогидравлическую модель Р. Манна. Также в контур спроектированной САР мощности включены: модель шагового электромагнитного привода, уточненная математическая модель 12 группы ОР СУЗ, а также обобщенная математическая модель датчиков нейтронного потока с шумами. Спроектированные регуляторы демонстрируют большое преимущество в тестах при изменении уставки оператора $\pm 10\% P_{\text{ном}}$ и при введении реактивности $\pm 0,1\beta$ по сравнению с традиционным ПИ-регулятором.

Изменение структуры и параметров учебного контента при управлении процессом обучения по уровневой дисциплине «Информатика»

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

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

С 2021 года в рамках проекта внедрения индивидуальных образовательных траекторий в НИЯУ МИФИ процесс обучения по дисциплине «Информатика» проводится на двух уровнях подготовки: основном (базовом) и углубленном. Учебный контент, с которым работают студенты, различается как на каждом из уровней, так и для каждой категории студентов одного уровня.

Управление процессом обучения по уровневой дисциплине выстраивается на основе изменения структуры и параметров учебного контента в соответствии с результатами оценки уровней подготовленности обучаемых и отслеживания их динамики. Основные параметры учебного контента: количество заданий, сложность заданий, трудоемкость выполнения заданий, сроки выполнения заданий, форма выполнения задания. Основные компоненты структуры учебного контента: количество тем и разделов курса, содержание тем и разделов курса, форма проведения занятий, интенсивность взаимодействия с обучаемым.

Типы уровневости определяются тем, что может изменяться на разных уровнях

подготовки: параметры контента, его структура или и то, и другое одновременно. Выбор типа уровневости учебной дисциплины зависит от степени однородности исходной подготовки контингента обучаемых. Для высокой степени однородности исходной подготовки достаточно варьировать параметры учебного контента, а низкая степень однородности требует изменения его структуры для разных категорий обучаемых.

Управление как параметрами, так и структурой процесса обучения по дисциплине «Информатика» проводится с использованием инструментов адаптивной информационно-образовательной среды, развернутой на кафедре «Информатики и процессов управления» НИЯУ МИФИ.

Опыт разработки в АО «НИКИЭТ» средств контроля нейтронно-физических параметров ядерных реакторов различного назначения

к.т.н. С.И. Александров, С.И. Крюков, **И.В. Новиков**

АО «НИКИЭТ» – Москва, Россия

Представлены работы по созданию комптоновских эмиссионных детекторов нейтронов, стенда имитации изменения потока нейтронов при задании реактивности и периода, каналов контроля плотности потока нейтронов для различных ядерных установок.

В 1980-х гг. был разработан безынерционный комптоновский эмиссионный детектор кабельного типа с эмиттером из HfO_2 . Преимуществами комптоновского эмиссионного детектора нейтронов по сравнению с серебряным и родиевым являются безынерционность, близкая к нулю чувствительность к γ -излучению, низкая скорость выгорания эмиттера, технологичность и стойкость к механическим воздействиям. В настоящее время ведутся работы по созданию безынерционного детектора с новым типом материала эмиттера, преимуществом которого будут: чувствительность, сопоставимая с чувствительностью родиевого детектора, сохранение безынерционности сигнала детектора, возможность уменьшения наружного диаметра детектора до 1,5 мм.

Все эти факторы позволяют использовать сигнал детектора в локальной аварийной защите активной зоны.

На территории МГТУ им. Баумана (ОЛАР МГТУ им. Баумана) проводятся работы по созданию стенда имитации изменения потока нейтронов при задании реактивности и периода. В настоящее время стенд позволяет создавать потоки нейтронов в местах расположения исследуемых камер де-

ления от $0,5$ до $5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$. При изменении закона перемещения источника нейтронов на стенде возможно задавать период изменения плотности потока нейтронов в диапазоне от 100 до 2 с, а реактивность – в диапазоне от $0,05$ до $0,7 \beta_{\text{эф}}$ в местах установки подвесок исследуемых каналов.

Для обеспечения контроля нейтронно-физических характеристик ядерных установок при выполнении операций загрузки, перегрузки топлива, проведение физического пуска АО «НИКИЭТ» разрабатывает системы контроля подкритичности (СКП). Эти системы позволяют контролировать плотность потока нейтронов в активной зоне реактора в подкритическом состоянии.

Для обеспечения измерения потока тепловых нейтронов во внутриреакторных экспериментальных по расплавлению 10 кг топлива и управляемому перемещению в заданное пространство на реакторе ИГР (Республика Казахстан) были разработаны малогабаритные ионизационные камеры деления наружным диаметром 7 мм и комптоновские эмиссионные детекторы нейтронов наружным диаметром 4 мм, которые работали в агрессивной среде (аргон, пары натрия, азот) в условиях воздействия температуры до $500 \text{ }^\circ\text{C}$ и давления до 16,7 МПа.

Интеграция задачи расчета технико-экономических показателей 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 расчета технико-экономических показателей (ТЭП) АСУ ТП в верхний иерархический уровень АСУП.

Автоматизированная система управления производством (АСУП) 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 расчета технико-экономических показателей предназначена для проведения технико-экономических расчетов и представления данных в виде отчетных форм по данным реального времени АСУ ТП. Программа предоставляет пользователю следующие основные функции: просмотр и редактирование среднечасовых данных, вычисление и коррекция среднесменных, среднесуточных, среднемесячных и среднегодовых значений параметров, а также значений за произвольный период, вычисление интегральных значений параметра за смену, сутки, месяц и год. А также редактирование графика смен, задание плановых показателей, выдача результатов на печать, подготовка отчетных форм и формирование отчетов.

В качестве исходных данных используются средние получасовые данные архивов показаний сигналов. Программа расчета технико-экономических показателей использует все базы данных, определяемые ядром реального времени. При начальной загрузке программа ТЭП преобразует данные по сигналам из формата трендов среднечасовых показаний в формат баз данных программы. Файлы базы данных ТЭП, также как и файлы архивов, создаются по месяцам, т.е. для каждого месяца имеется свой файл базы данных с соответствующим именем. База данных ТЭП ведется по Гринвичу, таким образом, при формировании её из трендов, ведущихся по поясному времени, производится преобразование трендов в формат Гринвича.

Для выдачи результатов расчета поддерживаются два основных режима работы программы. Это календарный режим работа по календарным астрономическим месяцам и отчетный – программа работает в режиме отчетных месяцев, определяемых пользователем, где пользователь указывает день и час начала отчетного года, тем самым определяя месяцы отчетного года. Переключение режимов осуществляется с основного формата программы.

О перспективах внедрения физико-технических интеллектуальных устройств и систем для контроля радиационной безопасности воздушной среды в режиме реального времени

к.х.н. **М.Р. Попченко**, к.б.м. А.Г. Цовьянов

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

В настоящее время в России и за рубежом наблюдается значительная изобретательская активность в области создания физико-технических интеллектуальных устройств и систем для контроля радиационной безопасности воздушной среды в режиме реального времени.

Для внедрения отечественных разработок на предприятиях Госкорпорации «Росатом» предлагается провести сравнительные испытания и организовать промышленное производство лучших отечественных устройств и систем для контроля радиационной безопасности воздушной среды в режиме реального времени.

В настоящее время в России и за рубежом наблюдается значительная изобретательская активность в области создания физико-технических интеллектуальных устройств и систем для контроля радиационной безопасности воздушной среды в режиме реального времени.

В качестве примеров зарубежных разработок можно рассмотреть следующие: Патент США US 10247653 (02.04.2019) – Устройство для непрерывного мониторинга частиц обедненного урана в воздухе в режиме реального времени и соответствующий метод использования для достижения желаемого предела обнаружения и скорости реагирования – Mauro & Associates, LLC, US; Международная заявка WO 2020/204165 (08.10.2020) – Способ и аппарат для измерения доли мелких частиц – JFE Steel Corp, JP.

Известно множество примеров отечественных разработок, рассмотрим некоторые из них: Пат. РФ № 2680661 (25.02.2019) –

Устройство для измерения спектра размеров аэрозольных частиц и способ измерения спектра размеров аэрозольных частиц – ООО «Аэрозольные приборы»; Пат. РФ № 2770567 (18.04.2022) – Способ голографического анализа взвешенных частиц – ДГТУ. Пат. РФ № 2750682 (01.07.2021) – Радиометрическая установка – Российская Федерация, от имени которой выступает Госкорпорация «Росатом» и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»; Пат. РФ № 2676557 (09.01.2019) – Способ определения параметров дисперсного состава радиоактивных аэрозолей – ИБРАЭ РАН.

Для внедрения отечественных разработок на предприятиях Госкорпорации «Росатом» предлагается провести сравнительные испытания и организовать промышленное производство лучших отечественных устройств и систем для контроля радиационной безопасности воздушной среды в режиме реального времени.

Математическая модель гибридного регулятора для системы стабилизации летательного аппарата

к.ф.-м.н. Н.А. Первушина¹, **А.Е. Порывкин**²

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина» – Снежинск, Россия;

² ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» – Снежинск, Россия

Предложена математическая модель гибридного регулятора для системы стабилизации летательного аппарата в канале тангажа. В классическую структуру сигнала управления введено эквивалентное дополнительное усилию на руль высоты слагаемое, пропорциональное заданной перегрузке. Коэффициент пропорциональности настраивается с помощью нечёткого регулятора, база правил которого учитывает влияние заданной перегрузки и скорости тангажа. Результаты компьютерного моделирования показали улучшение качества переходного процесса в системе стабилизации с гибридным регулятором, в частности, увеличение быстродействия.

Система стабилизации (СС) летательного аппарата (ЛА) имеет трёхканальную структуру: канал крена, канал тангажа и канал рыскания. Рассмотрим стабилизацию ЛА в продольном канале управления (канале тангажа). Требуется разработать интеллектуальную СС углового положения ЛА, обеспечивающую устойчивость и высокое быстродействие.

Совокупность нечеткого и классического регулятора представляет собой гибридный регулятор (ГР). Динамические свойства системы с классическим регулятором улучшаются при использовании ГР на базе нечетких высказываний. Нечеткий регулятор (НР) настраивает выходную переменную (например, коэффициент усиления регулятора) в зависимости от входных переменных, используя базу правил. ГР обладает интеллектуальностью, поскольку может приспосабливаться к изменению входных параметров и модифицировать выходной параметр в соответствии с базой правил.

Предлагается классическую структуру сигнала управления в канале тангажа дополнить слагаемым, соответствующим дополнительному усилию на руль высоты, пропорциональному заданной перегрузке, а коэффициент пропорциональности настраивать с помощью НР.

В работе дано обоснование введения дополнительного слагаемого в структуру сигнала управления, предложена форма дополнительного сигнала, аргументирована необходимость применения НР для настройки коэффициента пропорциональности, разработана структура НР и создан программный модуль для его реализации. Проведено математическое моделирование работы СС с ГР и выполнен анализ полученных результатов. Важным преимуществом гибридного способа управления перед классическим является быстродействие и улучшение качества стабилизации в целом.

Обзор технологических заделов в области семантического веба с целью выбора подхода к реализации «интернета активов»

А.С. Рассомагин

АО «Гринатом» – Москва, Россия

Доклад посвящен активам, которые могут быть представлены в виде набора данных. В настоящее время физическая и цифровая сущности актива разделены. Возможным решением может стать концепция «интернета активов».

Под активом понимается любой материальный или нематериальный объект, обладающий набором характеристик и свойств, физических, финансово-экономических, технологических и эксплуатационных. В качестве актива может выступать любой физический, биологический, финансовый объект (счета в банках, кредитный договор) или результат интеллектуальной деятельности.

Каждый актив как объект реального мира обладает определённым количеством характеристик, которые можно назвать цифровой сущностью актива.

В настоящее время физическая и цифровая сущности актива разделены. Право собственности на актив как на физический объект не соответствует праву собственности на данные об активе. Например, скан паспорта практически каждого человека хранится в нескольких организациях (банки, страховые компании и пр.) и доступ к данным внутри организаций невозможно контролировать, что может привести к несанкционированному открытию счетов, формированию спам-предложений.

Накопление данных об активе происходит в различных информационных системах, которые не всегда интегрированы между со-

бой. В интегрированных системах существует возможность определения мастер-данных, разрешения конфликтов данных.

Процесс формирования отчета о состоянии актива зависит от набора и объема данных, которые требуется получить. В нескольких системах, в которых хранятся данные об активе, направляется соответствующий запрос и, если системы не интегрированы, данные собираются в ручном режиме и переносятся в сводный отчет.

Решение «Цифровой двойник (+ цифровая тень)» в таком подходе не является оптимальным, т.к. представляет собой накопленные данные определённого вида, скопированные из различных систем. Кроме того, как правило, цифровой двойник отображает технологически обусловленную характеристику объекта и оставляет открытым вопрос права собственности на данные актива, т.к. является не источником данных, а получателем.

Возможным решением может стать концепция «интернета активов» (IoA), в которой каждый актив ассоциируется с набором данных, представленных в виде виртуальной системы хранения данных.

Применение метода обратного шага как инструмента синтеза управления нелинейными системами

Д.В. Рязанов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

Рассматривается один из методов нелинейного управления – метод обратного шага. Использование данного подхода возможно в условиях менее ограничительных, чем в случае использования других нелинейных методов управления. В качестве примера разработан закон управления системы магнитной левитации MagLev 33-210 на основе различных бекстеппинг-методов и перепроектирования непрерывного регулятора в цифровой регулятор для нелинейной системы. Переход к цифровому регулятору основан на методике согласования управление/функция Ляпунова. Закон управления спроектирован при измеримых переменных состояния в отсутствие неопределённостей. Исследования проводились в системе MATLAB R2014a/Simulink.

Существующие методы нелинейного управления

Рассмотрение различных методов нелинейного управления: классический метод обратного шага, адаптивный метод обратного шага при измеримых и неизмеримых переменных состояния, метод обратного шага с наблюдателем по состоянию, методы перепроектирования непрерывных законов управления.

Метод обратного шага

Систематический метод проектирования нелинейных систем, называемый методом обратного шага (бекстеппинг), был разработан в конце прошлого века как рекуррентный метод функций Ляпунова для проектирования регуляторов нелинейных систем управления. Этот метод применим для нелинейных систем произвольного порядка, которые могут быть представлены в виде последовательного (каскадного) соединения подсистем первого порядка.

Математическое моделирование объекта управления

Представление математической модели Система 33-210 MagLev в виде дифференциальных уравнений, которые максимально близко опишут динамику системы. Модель будет основываться на известных законах физики, и особенно – электромагнетизма, для того, чтобы получить эти уравнения.

Проектирование закона управления при измеримых переменных состояния в отсутствие неопределённостей

Моделирование системы 33-210 MagLev, рассмотренной ранее в среде MATLAB R2014a/Simulink. Определим закон виртуального управления для подсистемы. Выбор расширенной функции ФЛУ.

Цифровое управление системой магнитной левитации

Получение цифрового управления для системы, которая рассмотрена ранее. Расчет и применение первой и второй производной Ли для функции Ляпунова при дискретизации системы в первом и втором приближении.

Интеллектуализация автоматизированных систем физической защиты. Основные направления

д.т.н. В.А. Пожидаев, к.т.н. **Д.А. Скворцов**, к.т.н. С.И. Журин,
К.Д. Уркаева, А.В. Борушнова

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

Показана актуальность интеллектуализации автоматизированных систем физической защиты, связанная с необходимостью оптимизации людских ресурсов. Определены направления интеллектуализации, способные принести наибольший вклад в эффективность системы – автоматизированный анализ видеoinформации и поддержка принятия решений. Для систем видеоаналитики разработаны алгоритмы распознавания изображений в видеопотоке. Для системы поддержки принятия решения определены основные информационно-расчетные задачи и способы их решения.

Автоматизированные системы физической защиты в настоящее время динамично развиваются, в том числе для противодействия новым видам угроз. Растет число технических средств, информация от которых должна обрабатываться, увеличивается вариативность действий потенциального нарушителя. Все это повышает нагрузку на оператора и вынуждает увеличивать штат операторов. На крупных объектах уже выделяются операторы системы охранной сигнализации и управления доступом и операторы телевизионной системы наблюдения. Помимо увеличения штата, этот процесс приводит к потере ситуационной осведомленности лиц, принимающих решения и контролирующих обстановку на объекте, что отрицательно сказывается на эффективности системы в целом.

Система поддержки принятия решения в автоматизированной системе физической защиты в первую очередь должна быть направлена на агрегирование информации,

представление ее оператору или иному лицу, принимающему решение, в обработанном, «концентрированном» виде, выделение информации, действительно важной для принятия решения, исключение обработки информации, имеющей рутинный характер и отвлекающей лицо, принимающее решение, от основной задачи.

Основными направлениями являются следующие – видеоаналитика, позволяющая выделить нештатные ситуации и обеспечить контроль выполнения процедур в автоматическом режиме, и обработка информации от всех элементов автоматизированной системы, позволяющая составить прогноз развития ситуации на объекте, в том числе с учетом принимаемых решений. В основу информационно-расчетных задач положены хорошо проработанные методы оценки эффективности систем физической защиты, основанные на математическом моделировании.

Методы реализации разнообразия в программно-технических средствах управляющих систем безопасности АЭС

С.Ю. Гриценко ¹, к.т.н. В.В. Зверков ², **И.А. Стародубцев** ²

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

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

Доклад посвящен методам и способам реализации разнообразия с целью снижения риска возникновения отказов по общей причине в программно-технических средствах управляющих систем безопасности АЭС. Рассмотрены требования российской и международной нормативной документации, проанализирован опыт повышения надежности программно-аппаратных и аппаратных комплексов в смежных отраслях. На примере КСА ТПТС-СБ для АЭС приводится обоснование необходимости и достаточности диверсифицированной схемы для двухкомплектной аппаратуры с разным аппаратным обеспечением как способа реализации разнообразия.

Рассмотрены требования российской и международной нормативной документации, проанализирован опыт повышения надежности программно-аппаратных и аппаратных комплексов в смежных отраслях. Проведенный анализ позволил выделить основные категории аспекта разнообразия: общие требования или рекомендации по применению разнообразия, применение функционального и/или сигнального разнообразия, применение функционального/сигнального и разнообразия в оборудовании, критерии и методы разнообразия. Проанализировано использование разнообразия в железнодорожном транспорте, авиастроении, металлургическом производстве, нефтегазовой отрасли.

Рассмотрены технические решения по применению принципа разнообразия в девяти проектах АЭС, включая отечественные и зарубежные. Наиболее успешным способом реализации из всех возможных видов разнообразия следует признать применение

аппаратного разнообразия, основанного на использовании разных технических средств в разных каналах и комплектах. Наиболее уязвимым местом, приводящим к увеличению вероятности ООП в СКУ при отсутствии решений по разнообразию, является наличие программного обеспечения (ПО).

При разработке учитывался большой объем объектов и критериев разнообразия. На основании разработанных критериев разработки аппаратного и программного обеспечения реализовывалось КСА ТПТС-СБ. Принцип разнообразия здесь используется как на программном, так и аппаратном уровнях. Аппаратно-программные решения и процесс разработки полностью соответствуют разработанным критериям. Совместное применение КСА ТПТС-СБ и ДСЗ позволяет структурировать аппаратуру управляющих систем по 2-м уровням ГЭЗ – 3 и 4, что увеличивает уровень безопасности АЭС.

Создание инфраструктуры для интеллектуальных приборов учёта в системе СПОДЭС

А.А. Ташчян, В.В. Флоренцев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

Рассматривается разработка инфраструктуры для интеллектуального прибора учета iSAFE от АО «НПО КАДЕТЕК» в системе СПОДЭС (спецификация протоколов передачи информации с интеллектуальных приборов учета электроэнергии (ИПУЭ) на устройство сбора и передачи данных), позволяющей взаимодействовать с прибором через удобный веб-интерфейс.

Современные тенденции развития приборов учета сопровождаются необходимостью перехода на полностью цифровые системы контроля показаний.

Прибор учета iSAFE позволяет вести учет электрической энергии в помещении и имеет встроенную систему защиты УЗО. Он передает и принимает сигналы по радиопrotocolу LoRa.

Настоящая работа посвящена разработке инфраструктуры, которая позволит счетчику подключаться к общедомовому прибору учета, с которого информация будет отправляться на веб-сервер, предоставляющий возможность удобно просматривать показания всех счетчиков и администрировать их через веб-интерфейс.

В качестве общедомового прибора учета выступает базовая станция LoRaWAN (BEGA BC) вместе с linux машиной (Raspberry Pi). Базовая станция принимает радиосигналы от близлежащих счетчиков по LoRa и через WAN по UDP передает их Linux машине, которая, в свою очередь, фильтрует полученные данные и отправляет их на веб-сервер по TCP. Аналогичный процесс (но в обратном порядке) происходит при передаче данных от сервера к конкретному счетчику.

Веб-сервер хранит полученные данные в базе данных (PostgreSQL) и предоставляет админ-панель для взаимодействия со счетчиками. Также предусмотрено API для сторонних сервисов.

Контроль тепловых перемещений трубопроводов при помощи системы компьютерного зрения

к.ф.-м.н. Е.Л. Матвеев, А.Л. Матвеев, **М.С. Черкасова**, А.Ю. Мишенин

АО «НИКИЭТ» – Москва, Россия

Представлены результаты работ по созданию системы контроля тепловых перемещений и разработке соответствующего программного обеспечения (ПО). Рассматриваются особенности реализации автоматизированного контроля линейных перемещений при помощи видеокамеры и специальной «мишени», а также возможности ПО.

Для оценки величины смещений трубопроводов и оборудования (ОиТ), возникающих в процессе эксплуатации, был разработан фрагмент системы, который в автоматическом режиме осуществляет измерение линейных перемещений контролируемых ОиТ и производит анализ полученных результатов с целью оценки технического состояния контролируемых ОиТ для управления ресурсными характеристиками объекта контроля.

Разработанный фрагмент системы выполняет измерения относительных линейных перемещений объектов контроля при помощи оптических первичных преобразователей на базе измерительных комплектов, состоящих из видеокамер, размещенных в местах, относительно которых происходит измерение, и «мишеней», монтируемых непосредственно в точках контроля оборудования и представляющих собой макет «шахматной доски».

Изображения с камер передаются в вычислительный комплекс фрагмента системы для обработки в программном обеспечении по специальным математическим алгоритмам и определения текущего местопо-

жения «мишени» в пространстве с целью измерения линейных перемещений точек контроля в трёх взаимно перпендикулярных направлениях.

Разработанное программное обеспечение также позволяет осуществлять в автоматизированном режиме калибровку видеокамеры перед началом эксплуатации или после ремонта системы и непрерывно в автоматическом режиме делать снимки «мишени» и анализировать их по специальным алгоритмам, а в случае превышения уставок выводить соответствующую информацию на монитор оператору в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

Для оценки погрешности измерений с учетом воздействия различных факторов (освещенность, степень заполнения изображения «мишенью», расстояние от видеокамеры до «мишени», направление и величина перемещений, вибрации) был сформирован объем тестовых проверок из 780 проведенных тестов. В ходе проведения анализа было выявлено, что основная относительная погрешность измерения относительных перемещений с учетом вибраций составляет не более 5%.

Опыт применения суперкомпьютерных технологий при решении ядерно-физических задач, а также перспективы их развития

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

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

В докладе представлены текущее состояние и актуальные задачи развития суперкомпьютерных технологий в интересах проектирования и создания сложных технических систем и изделий.

Развитие отечественных суперкомпьютерных технологий – актуальная задача, направленная на обеспечение конкурентоспособности и импортонезависимости российской промышленности, науки и экономики. На современном этапе развития одна из ключевых задач – развитие и внедрение таких технологий (включая технологию компьютерных испытаний) на этапах жизненного цикла сложных технических систем и изделий, что приведет к сокращению сроков разработки, оптимизации количества натурных испытаний, оптимизации ТТХ изделий, повышению надежности и безопасности изделий. Ключевыми компонентами технологии являются: прикладное программное обеспечение, суперкомпьютерная инфраструктура, кадровое обеспечение, нормативное обеспечение и др.

В докладе рассмотрены вопросы развития отечественного программного обеспечения для организаций ОПК, атомной энергетики и гражданского сектора экономики. Отмечается, что на ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» при поддержке Госкорпорации «Росатом» и Минпромторга России в интересах обеспечения технологической независимости страны создан отечественный многофунк-

циональный пакет программ Логос, предназначенный для инженерного анализа и математического моделирования на супер-ЭВМ режимов функционирования систем и изделий авиационной, ракетно-космической отрасли, атомной энергетики, судостроения, автомобилестроения, обычных вооружений, экологии, нефтегазовой отрасли и др. Приводятся результаты развития и внедрения пакета программ Логос.

Помимо этого, представлен опыт ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» по использованию суперкомпьютерных технологий в интересах комплексного моделирования процессов физики высоких плотностей энергии, лазерного термоядерного синтеза и т.д. Приводятся классы решаемых задач, особенности и параметры прецизионных расчетов. Представлены современные подходы по моделированию турбулентности, включая прямое численное развитие неустойчивости, электромагнетизма, а также переноса частиц и излучения и т.д.

В докладе представлены предложения по дальнейшему развитию отечественных суперкомпьютерных технологий и их внедрению в работы организаций промышленности и гражданского сектора экономики.

Разработка электронной системы пилотажных приборов ЭСПП

Ф.В. Шеламов, В.В. Флоренцев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В настоящей работе рассматривается разработка электронной системы пилотажных приборов ЭСПП, необходимой для отображения параметров полета самолёта. Модуль включает в себя авиагоризонт на базе цифрового акселерометра и цифрового гироскопа, цифровой приемник статического давления для альтиметра, приемник разностного давления для указателя скорости.

Современные тенденции развития авиационного строительства сопровождаются необходимостью перехода на полностью цифровые системы контроля полётных данных на смену технологиям электромеханического контроля.

Встроенная система предназначена для использования на лёгких воздушных судах и призвана отображать полётную и навигационную информацию. Разрабатываемый прибор измеряет, фильтрует и анализирует полётные параметры и выводит их на ЖКИ дисплей.

В системе используются микроэлектромеханические системы, а именно цифровой акселерометр и цифровой гироскоп. Для измерения высоты полёта и скорости используются цифровые датчики статического и динамического давления. При реализации системы сбора, обработки и вывода данных применяются микроконтроллеры STM32, которые отличаются наличием прямого доступа к памяти и отдельного цифрового сигнального процессора, что позволяет реализовывать математические линейные и нелинейные модели, которые важны при обработке измерительной информации.



Секция

« Киберфизическое, электрофизическое и ядерное приборостроение »

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

Определение концентрации изотопа ^{10}B в воде с помощью нейтронно-радиационных методов анализа

М.И. Бабич, И.В. Урупа

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

С помощью нейтронно-радиационных методов анализа были определены минимально обнаруживаемые концентрации (МОК) изотопа ^{10}B в воде с использованием различных источников нейтронов. Для радионуклидного источника МОК ^{10}B составила 8,7 мг/л при измерениях длительностью 3 600 с со статистикой в $4 \cdot 10^4$ импульсов для пика полного поглощения, для квазинепрерывного генератора нейтронов на основе (d,d) реакции – 1,75 мг/л для 1 000 с и $1 \cdot 10^6$ импульсов, соответственно.

Определение концентраций элементов, в частности, ^{10}B 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 $^{238}\text{PuBe}$, квазинепрерывные генераторы нейтронов на основе реакций (d,t) и (d,d). Регистрация

вторичного γ -излучения осуществлялась с помощью сцинтилляционного детектора на основе кристалла LaBr_3 размерами $\varnothing 75 \times 75$ мм. Для обеспечения наилучшей эффективности регистрации гамма-квантов в качестве емкости для исследуемого образца воды выступал сосуд Маринелли объемом 4 литра и диаметром 300 мм.

При обработке результатов экспериментов ставились в соответствие площади пика полного поглощения (ППП) излучения от изотопа ^7Li и концентрации растворенного изотопа ^{10}B за вычетом фона для каждого эксперимента, соответственно. Опираясь на полученную кривую зависимости ППП от концентрации растворенного изотопа ^{10}B , может быть определена неизвестная концентрация ^{10}B в исследуемых образцах.

Исследование высокочастотной компоненты сигналов детекторов системы внутриреакторного контроля

Н.О. Блохин, Д.Н. Скороходов, В.А. Мильто
НИЦ «Курчатовский институт» – Москва, Россия

В работе исследуются показания детекторов, входящих в состав СВРК (системы внутриреакторного контроля). С использованием данных опытной эксплуатации АЭС разработана методика идентификации неисправностей датчиков СВРК и канала измерения на основе анализа высокочастотной (шумовой) компоненты.

Контроль параметров активной зоны в реакторах типа ВВЭР выполняется с помощью СВРК. В состав СВРК входят датчики нейтронно-физических и теплогидравлических параметров, необходимые для определения параметров активной зоны. Важной задачей является контроль достоверности показаний датчиков СВРК. В случаях очевидных отказов, таких как выход показаний за границы допустимых диапазонов или выход скорости изменения сигнала за допустимое значение, показания датчиков автоматически перестают учитываться в расчётах. Но если показания детекторов остаются в допустимом диапазоне, хотя не отвечают физическим процессам, то как следствие возникает проблема некорректного описания состояния активной зоны.

Актуальной задачей на данный момент является разработка методов идентификации недостоверных показаний датчиков СВРК.

В работе предложен один из методов идентификации недостоверных датчиков по двум характерным признакам: наличие единичных выбросов и шумовой компоненты больших амплитуд за время экспозиции. Для поиска оптимального метода был сфор-

мирован набор тестовых сигналов на основе эвристического подхода и использования архивных данных эксплуатации.

В ходе разработки методики возникли трудности, связанные с особенностью регистрации данных в СВРК, например, большой период дискретизации приводит к несоблюдению выполнения теоремы Котельникова, из-за чего приходилось искать оптимальные значения цифровых фильтров, основанных на характерной инерционности датчика (связанной с реальными физическими процессами), с учетом наличия зеркальных частот в сигнале, а большое число приходящих сигналов в секунду, накладывали ограничения на сложность алгоритма.

Разработана методика идентификации недостоверных датчиков типа ДПЗ, петлевых термопар и термометров сопротивления, планируется расширить данную методику для идентификации других типов датчиков, входящих в состав СВРК. Метод реализован в виде программы и планируется к установке в опытную эксплуатацию на одном из энергоблоков. По результатам эксплуатации будет принято решение о дальнейшем внедрении метода.

Исследование дозиметрических свойств синтезированных образцов искусственных гидроксиапатитов (ГАП) для использования их в дозиметрии методом ЭПР спектрометрии

В.П. Пантелькин, **П.П. Ганцовский**, А.Г. Цовьянов

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

В работе приводятся результаты синтеза и испытания образцов карбонат гидроксиапатита (КГАП) при разном содержании карбонат-ионов в них, а также ЭПР-спектры образцов до и после облучения при разных температурах отжига (80 °С – 950 °С). Построена зависимость функции ЭПР отклика – амплитуды радиационного сигнала ЭПР от дозы излучения для лучших образцов синтетических гидроксиапатитов.

В последние несколько десятилетий в практику дозиметрических исследований был введен метод спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Он используется для оценки доз, полученных человеком за весь период его жизни, а также при радиационных авариях. В качестве объекта исследования применяется эмаль зуба человека. Основным компонентом зубной эмали является карбонат гидроксиапатит (КГАП). После облучения в КГАП появляются свободные радикалы – стабильные парамагнитные центры CO_2^- , которые вносят основной вклад в ЭПР-спектр облученных образцов. Эмаль зуба обладает высокой чувствительностью к радиационному излучению, поэтому изучение свойств синтетических гидроксиапатитов для использования их в качестве дозиметров представляется важной задачей. Синтез образцов КГАП при различных условиях их получения и дальнейшая их термическая обработка, анализ их спектров ЭПР были предметом

проведенных исследований. Содержание карбонат-ионов в КГАП существенным образом может сказаться на форме сигнала ЭПР образцов до и после проведения облучения. Поэтому был проведен синтез и испытание образцов КГАП при разном содержании карбонат-ионов в них. Также был проведен отжиг этих образцов при различных температурах (80 °С – 950 °С). Были записаны ЭПР-спектры образцов до и после облучения, и было проведено сравнение ЭПР-спектров разных образцов. После излучения ЭПР-спектров образцов был сделан выбор оптимальной температуры отжига. Лучшие результаты показал образец синтетического КГАП с температурой отжига 80 °С – 100 °С и содержанием карбоната в нем около 1%. Была построена зависимость функции ЭПР отклика – амплитуды радиационного сигнала ЭПР от дозы излучения для лучших образцов синтетических гидроксиапатитов.

Анализ технических тенденций развития систем радиационного контроля

д.т.н. С.Б. Чебышов, д.т.н. И.И. Черкашин, **А.С. Гордеев**, А.А. Иванов,
Р.А. Насибуллин, Е.М. Ветошкин

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты анализа технических тенденций развития перспективных систем радиационного контроля (СРК), выполненного с учетом состояния и основных решений по оптимизации объема радиационного и дозиметрического контроля и решений по совершенствованию оборудования.

В качестве основных тенденций, выделенных при выполнении анализа технических решений, принятых ранее и реализуемых в настоящее время, отмечены следующие отличительные особенности: СРК рассматриваются как подсистемы АСУ ТП; происходит наращивание функций конструктивно завершенных измерительных каналов; ужесточаются требования по устойчивости к внешним воздействиям; продолжается расширение диапазонов и увеличение точности измерений представленных на рынке компонентов СРК; на этапе проектирования проводится оптимизация объема радиационного контроля для каждого объекта; СРК проектируются на базе аналогов оборудования и ранее реализованных проектов; все оборудование СРК относится к классу безопасности 3; расширяется область применения оборудования СРК; при создании оборудования СРК применяются новые технологии; принимаемые технические решения отражают проблемы взаимодействия участников рынка СРК. Приведены примеры реализованных на АЭС технических решений, иллюстрирующие перечисленные тенденции.

Отдельно представлена информация об особенностях программного обеспечения

верхнего уровня СРК, обеспечивающего простоту конфигурации и сопряжения с аппаратурой АСУ ТП при отсутствии импортных компонентов.

Приведены основные характеристики эволюционного развития оборудования для измерения объемной активности газо-воздушных технологических сред из состава СРК АЭС с реакторной установкой типа ВВЭР-1200, выражающиеся в сокращении габаритных размеров и массы приборов при сохранении показателей назначения, соответствующих проектным требованиям действующих и сооружаемых энергоблоков.

На примере внедрения новых разработок в АО «СНИИП» показаны положения технической политики, при которой предусматривается поддержание в актуальном состоянии конструкторской документации на изделия на всем жизненном цикле СРК и которая обеспечивает преемственность поколений программно-технических средств радиационного контроля.

Выполнено ранжирование рассмотренных технических решений по соотношению объема инвестиций в разработку и затрат на эксплуатацию на всех этапах жизненного цикла СРК.

Применение инженерно-экономического подхода при конструировании элементов систем радиационного контроля

д.т.н. С.Б. Чебышов, **А.С. Гордеев**, А.А. Иванов, А.В. Калинин

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе на примере нескольких типов оборудования радиационного контроля рассматриваются инновационные инженерные решения в качестве иллюстрации комплексного инженерно-экономического подхода при создании новых изделий. Как один из наиболее характерных параметров для данного вида продукции рассматривается вопрос конструирования новой аппаратуры с учетом опыта эксплуатации приборов-прототипов. Показаны эффекты, достигаемые при применении новых материалов и технологических решений.

В процессе разработки новых средств радиационного контроля (СРК) одной из важнейших задач является достижение оптимального сочетания технических и экономических характеристик, при этом оптимизационный подход применяется не только для достижения требуемых измерительных характеристик, но и одновременно на каждом этапе разработки проводятся периодический мониторинг затрат, детализированный план-факт анализ и компенсирующие мероприятия по управлению конфигурацией СРК.

На примере разработки нескольких типов СРК описан подход по применению инженерно-экономического анализа к разработке оборудования, обобщенный по результатам создания и освоения в серийном производстве приборов нового поколения на основе оптимизированных решений в части материалов радиационной защиты, конструкций приборов и их основных компонентов, применения цифровых технологий. Для измерения инертных радиоактивных газов разработано устройство детектирования (УД) УДГБ-47Р, которое при обеспечении требуемого диапазона измерений от 10^3 до

10^{12} Бк/м³ имеет массу в 3,5 раза меньшую относительно прототипа при существенном сокращении габаритных размеров. Аналогичные конструкторские решения реализованы и при разработке УД объемной активности йода-131, где масса УДАГ-09Р была сокращена с 226 кг до 61 кг, а габаритные размеры по сумме измерений – более чем в 2 раза, при расширении диапазона измерений в чувствительной области на 30% и увеличении диапазона в верхней части в 2,7 раза, что в единицах измерений составило от $3 \cdot 10^{-2}$ до 10^7 Бк/м³. При разработке УДЖГ-43Р среди принятых инновационных решений существенное место занимает переход от традиционного свинца в качестве материала защиты блока детектирования к сплаву свинца и сурьмы.

Подход по применению инженерно-экономического анализа к разработке СРК включает четыре этапа и иллюстрирует выбор наиболее эффективных решений для конкретных типов приборов, исходя из проектных условий их эксплуатации и оптимальных соотношений основных характеристик изделий.

Исследование свойств полупроводниковых детекторов на основе кремния и арсенида галлия

В.Г. Голубев, **М.Д. Дерябина**, А.В. Редкоус
АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе рассматриваются результаты экспериментов по изучению чувствительности и энергетической зависимости чувствительности ионно-имплантированных, литий-дрейфовых кремниевых детекторов и детекторов на основе арсенида галлия. Приведено сравнение полученных экспериментальных данных с результатами теоретических расчётов методами Монте-Карло. Указанные работы имеют принципиальное значение для дальнейшего выбора оптимального типа и размера чувствительных элементов устройств детектирования, разрабатываемых в АО «СНИИП».

Полупроводниковые детекторы являются одним из наиболее часто используемых типов чувствительных элементов блоков детектирования ионизирующих излучений наряду со сцинтилляторами и счётчиками. Их очевидными преимуществами являются компактный размер, низкое напряжение питания, высокая чувствительность и широкий энергетический диапазон регистрации. Вместе с тем, применение подобных типов детекторов требует решения задач подавления шумов, существенной температурной зависимости и энергетической зависимости чувствительности.

К наиболее популярным и доступным типами полупроводниковых детекторов относятся ионно-имплантированные и литий-дрейфовые кремниевые детекторы, а также детекторы на основе арсенида галлия. Целью выполненного исследования было установление характеристик чувствительности каждого из трёх типов детекторов с целью выбора оптимального решения для применения в составе дозиметрической аппаратуры.

Предварительно были выполнены расчёты чувствительности каждого из типов детекторов известной геометрии к гамма-излучению радионуклидов Am-241, Cs-137, Co-60. Расчёты были выполнены методом математического моделирования процесса переноса излучения с применением программных пакетов Geant4 и MCC MT. В ходе экспериментальных работ были изготовлены опытные образцы устройств детектирования с Si- и GaAs-кристаллами, проведены измерения характеристик на дозиметрических установках и установлена форма энергетической зависимости чувствительности, дополнительно проведены исследования температурной зависимости.

В докладе приведён анализ полученных результатов, сравнение расчётных и экспериментальных значений. Таким образом, произведена верификация созданных моделей детекторов и сделан вывод о сходимости результатов по порядку. Кроме того, сделан вывод о потенциальных сферах применения каждого из указанных типов детекторов.

Устройство и методика измерений герметичности ВЗК манометрическим методом

С.Н. Крючков, А.И. Тихонов, **Ю.И. Жукаева**, А.Е. Красин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

В работе представлен стенд измерительный, который используется для проверки герметичности сосудов большого объема, работающих под давлением. Контроль герметичности проводится манометрическим методом с учетом влияния температуры.

В целях обеспечения требований экологической безопасности на ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ» используются взрывозащитные камеры (ВЗК).

При изготовлении ВЗК проходят много-ступенчатый контроль и испытания, обеспечивающие максимальное исключение выхода продуктов взрыва за пределы камеры. Завершающим испытанием является проверка камеры на прочность и герметичность. Аттестованные методики контроля герметичности не всегда обеспечивают необходимую точность для данного вида испытаний. Вследствие этого сохраняется актуальность разработки и совершенствование методик контроля герметичности ВЗК.

Чтобы обеспечить безопасность проведения взрывных экспериментов, потребовалась разработка системы контроля герметичности (СКГ) ААРС2001, системы термостатирования ВЗК ААРС2002 и выпуск методики измерения СКГ манометрическим методом (ММ).

При разработке методики измерения СКГ ММ разработана рабочая конструкторская документация на измерительный стенд, обеспечивающий:

– уменьшение тепловой инерции эталонной камеры (ЭК);

– увеличение теплопередачи между воздухом ВЗК и ЭК;

– уменьшение теплопередачи между стендом измерительным СКГ и ЭК;

– повышение однородности теплового поля воздуха ВЗК.

Также с учётом имеющегося теоретического и экспериментального материала:

– получены и впервые применены аналитические выражения для автоматизированного расчёта критерия герметичности с поправкой на неидеальность газа;

– проведена оценка показателей точности методики и погрешностей системы измерения;

– выполнен учёт неоднородности температурного поля.

Методика измерения контролирует следующие физические параметры ВЗК: абсолютное и относительное давление, температуру газа, время проведения испытаний, натекание/утечку газа (расчётным способом).

По результатам проделанной работы была выпущена и аттестована методика СКГ ММ, а также получен патент на «Устройство для контроля герметичности сосудов большого объема».

Исследовательский стенд по измерению объёмной активности изотопа ^{16}N , образующегося при взаимодействии быстрых нейтронов с проточной водой

Р.Ф. Ибрагимов¹, к.ф.-м.н. Е.В. Рябева¹, д.т.н. С.Б. Чебышов²,
В.А. Кишев², С.В. Ткачев²

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

² АО «СНИИП» – Москва, Россия

Представлены результаты работы с экспериментальным стендом, моделирующим процесс активации теплоносителя (проточной воды) в поле быстрых нейтронов. Описана методика измерения объёмной активности в различных точках водяного контура с использованием инструментов гамма-спектрометрии.

Также приводится описание физико-математической модели накопления и переноса наведенной активности в водяном контуре в зависимости от таких параметров, как энергия и интенсивность нейтронного потока, объёмы облучательной и измерительной емкостей, размеры трубопровода и мощность насоса. Приведены результаты экспериментов, подтверждающих данные физико-математической модели процесса активации и транспорта воды, содержащей в себе определенное количество активированных изотопов с периодом полураспада порядка 7 секунд.

Одной из текущих задач в области обеспечения безопасности на объектах эксплуатации ядерных энергетических установок является контроль герметичности парогенератора и трубопроводов первого контура теплоносителя. Мониторинг утечек теплоносителя первого контура в парогенераторе предполагается проводить путем измерения уровня объёмной активности изотопа ^{16}N в теплоносителе второго контура с использованием методов гамма-спектрометрии.

Для численной оценки минимально регистрируемого объема протечек созданы физико-математическая модель и экспериментальный стенд, включающий в себя водяной контур с облучаемой и измерительной емкостью, спектрометр гамма-излучения с де-

тектором на основе ВГО, источник 14 МэВ нейтронов (портативный нейтронный генератор ИНГ-07Т).

В работе получены экспериментальные зависимости значений объёмной активности в измерительной емкости от величины выхода нейтронов из источника от скорости прокачки воды.

Показано, что активность в измерительной емкости прямо пропорциональна выходу нейтронов из мишени, а увеличение скорости прокачки воды в контуре на $\approx 30\%$ приводит к росту активности в измерительной емкости на $\approx 80\%$, что также согласуется со значениями, спрогнозированными с использованием созданной физико-математической модели.

Возможность применения анализатора CAEN DT5740D при анализе данных в быстропротекающих процессах

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

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Доклад посвящен решению одной из проблем, связанной с программным обеспечением, при сборе и обработки данных в быстропротекающих процессах.

При работе с импульсными источниками энергии, такими как импульсный нейтронный генератор, приходится сталкиваться с ситуацией, когда за короткий промежуток времени нужно получить информацию о тысяче импульсов. Если рассматривать количество импульсов, приходящих в секунду по измерительному тракту, то практически любой измерительный тракт справляется с такой загрузкой без труда. Однако, когда речь идёт о регистрации такого числа импульсов за миллисекунды, то приходится сталкиваться с проблемой, связанной с потерей часть информации или «захлёбывания» измерительного тракта.

Проблемным местом, как правило, является детектор или измерительный тракт и очень редко – программное обеспечение. Программное обеспечение, как правило, используется на современных ПК и не приводит к существенным проблемам. Однако, когда измерительный тракт (детектор плюс электроника) оптимизирован, проблемы с программным обеспечением выходят на передний план.

В своих исследованиях, связанных с анализом горных пород, мы используем

анализатор CAEN DT5740D. Это довольно быстрый анализатор, он позволяет обрабатывать на одном измерительном тракте более 10^6 импульсов в секунду. К сожалению, при такой загрузке мы уже начинаем сталкиваться с проблемами программного обеспечения. Так, к нашему анализатору поставлялось программное обеспечение с открытым исходным кодом, для самостоятельной разработки собственного программного обеспечения, которое также имело такой недостаток. Чтобы решить эту проблему мы модернизировали его. На первом этапе мы изменили тип и объём сохраняемых данных в информации, что позволило получать данные с интенсивностью более 10^6 импульса в секунду на одном измерительном канале. На втором этапе, чтобы обеспечить работу анализатора по нескольким измерительным трактам одновременно, мы распараллелили процессы сбора данных и сохранения информации на жесткий диск, тем самым минимизировали вероятность задержки набора данных, связанных с сохранением и последующей обработкой данных в программном обеспечении.

Проблема обеспечения радиационной безопасности персонала при работе с источниками ионизирующего излучения высокой энергии

Е.А. Корнева, А.В. Комаров, А.Г. Цовьянов, В.Е. Журавлева, Н.К. Мазурин
ФГБУ «ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России – Москва, Россия

Источники ионизирующего излучения высокой энергии (ИИВЭ) широко используются в различных областях – науке, медицине, промышленности. На сегодняшний день в Российской Федерации эксплуатируется более 300 устройств в ядерной медицине и более тысячи радиотерапевтических систем. Энергия частиц в медицинских ускорителях – до 235 МэВ. В 2023 г. планируется запуск нового ускорительного комплекса «НИСА» (г. Дубна), который обеспечит широкий спектр пучков: от протонных и нейтронных, до пучков, состоящих из таких тяжёлых ионов, как ядра золота. Тяжёлые ядра будут ускоряться до энергии вплоть до 4,5 ГэВ/нуклон, протоны – до энергии 12,6 ГэВ. С каждым годом растёт как число используемых источников ИИВЭ, так и энергия частиц.

Согласно требованиям санитарных правил 2.6.1.2612-10, организации, эксплуатирующие источники ионизирующего излучения, обязаны обеспечивать радиационную безопасность персонала. При этом в СанПин 2.6.1.2523-09 приводятся сведения о дозах для фотонов и электронов с энергией до 10 МэВ, а для нейтронов – до 20 МэВ, что значительно ниже возможных энергий частиц на ускорителях. Эти сведения о дозах соответствуют данным, опубликованным в Публикации 74 МКРЗ. Отсутствие гигиенических норм и рекомендаций не даёт оснований и для развития приборов радиационного контроля ионизирующих излучений высоких энергий. Подобная ситуация делает невозможным обеспечение радиационной безопасности при работе на таких установках.

Для решения описанной выше проблемы необходимо разработать новые нормативные документы, соответствующие современным

международным рекомендациям. В 2010 г. опубликована Публикация 116 МКРЗ [5], содержащая различные коэффициенты, которые используются при расчетах для обеспечения радиационной безопасности при работе с источниками внешнего облучения. Эти коэффициенты были рассчитаны с использованием официальных вычислительных фантомов МКРЗ/МКРИ, представляющих эталонного взрослого мужчину и эталонную взрослую женщину, в сочетании с кодами Монте-Карло, имитирующими перенос излучения в организме человека. Рассматривались пучки моноэнергетических фотонов 10 кэВ–10 ГэВ, электронов и позитронов 50 кэВ–10 ГэВ, нейтронов 0,001 эВ–10 ГэВ, протонов 1 МэВ–10 ГэВ, пионов (отрицательных / положительных) 1 МэВ–200 ГэВ, мюоны (отрицательные / положительные) 1 МэВ–10 ГэВ и ионы гелия 1 МэВ/ед–100 ГэВ/ед.

Опыт применения аддитивных технологий при конструировании изделий ядерного приборостроения

А.А. Королев

АО «СНИИП» – Москва, Россия

Применение 3D-печати в производстве становится все более популярным способом изготовления благодаря своей способности создавать сложные детали и узлы, которые ранее были невозможны для изготовления традиционными методами. Этот процесс, известный как аддитивное производство, отличается от традиционных методов проектирования и изготовления в нескольких основных аспектах.

Аддитивное изготовление деталей имеет несколько преимуществ перед традиционными методами производства. Говоря про преимущества, не стоит забывать и о недостатках данного способа.

Процесс проектирования деталей для аддитивного производства средствами САПР отличается от проектирования для традиционных методов производства. Важно учитывать материал, который будет использоваться для 3D-печати, и его свойства. Например, для создания функциональных деталей можно выбирать материалы с определенными механическими характеристиками, такими как прочность, гибкость или

теплостойкость. В целом, процесс проектирования для аддитивного производства требует учета особенностей самого процесса и возможностей материалов, что отличает его от проектирования для традиционных методов производства.

Учитывая положительный опыт применения аддитивного производства при изготовлении вспомогательного оборудования, в конструкторском отделе ведутся работы по внедрению в конструкторскую документацию требований по изготовлению методами аддитивного производства на основании внедренных государственных стандартов.

Алгоритм идентификации спектральных линий в образцах горных пород

В.А. Крысанов, И.С. Левцов, к.ф.-м.н. С.В. Колесников

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

В докладе представлен алгоритм идентификации спектральных линий в образцах горных пород на основе нейтронно-радиационного анализа.

Основными преимуществами нейтронно-радиационного метода анализа являются отсутствие пробоподготовки, возможность определения более 30 элементов, особо высокая чувствительность к некоторым элементам. Спектры гамма-излучения, полученные в данном методе, представляют собой сложную структуру. Комплексность получаемых спектров напрямую влияет на время их обработки и как следствие – на общее время анализа.

Алгоритм идентификации состоит из калибровки по четырем известным пикам, аппроксимации по кривой Гаусса полученной зависимости, затем осуществляется калибровка полученного спектра по трем линейным уравнениям. Принцип калибровки: выбирается участок, который разбивается на три отрезка, и берутся две точки для каждого участка. Далее производим сложение всех экспериментальных спектров и производим калибровку одним линейным уравнением по четырем точкам, которые были описаны выше.

Далее программа записывает все пики, превышающие фон с вероятностью 95%, в возможные характеристические линии, по которым в дальнейшем можно идентифицировать элементный состав образца. Данная программа написана в среде Matlab с открытым кодом, из-за чего доступен для анализа метод обработки экспериментальных результатов, а также присутствует возможность коррекции этой программы, что отличает её от других аналоговых программ для идентификации спектральных линий с закрытым кодом.

Такой подход имеет большие перспективы в исследованиях горных пород, так как значительно упрощает систему по обнаружению пиков полного поглощения для исследуемого образца, а также учитывает смещение по каналам счетчика, впоследствии идентификация элементного состава изучаемого образца становится более простой.

Сегнетоэлектрические материалы для киберфизических систем

к.ф.-м.н. **Д.В. Кузенко**, Н.А. Спиридонов, С.С. Омелянович, И.Л. Сидак
ФГБНУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон» - Донецк, Россия

Показана перспективность применение сегнетоэлектрических материалов в качестве вычислительных и физических элементов киберфизической системы. Такое их применение возможно благодаря наличию спонтанной поляризации, пьезоэлектрического и пироэлектрического эффектов в сегнетоэлектриках, а также магнетоэлектрического эффекта в сегнетомагнетиках. Это позволяет организовать цикл «управление – получение данных – обработка данных – управление», необходимый для функционирования киберфизической системы.

Киберфизическая система – это система взаимодействующих вычислительных и физических элементов, которая реагирует на изменение условий внешней среды и может активно на нее воздействовать. К функциональным материалам, из которых могут быть созданы элементы такой системы, предъявляется ряд требований, обусловленных определением киберфизической системы, в том числе активность и функциональная гибкость.

Сегнетоэлектрические материалы могут выступать ключевым элементом киберфизической системы, поскольку позволяют объединить процесс принятия внешнего сигнала, его обработку и хранение в единой физической среде, а также активно воздействовать на внешнюю среду в результате наличия электромеханической связи, обусловленной обратным пьезоэлектрическим эффектом. Преимуществом сегнетоэлектриков перед другими классами функциональных материалов является то, что они являются активными диэлектриками, а также обладают пьезо- и пироэлектрическим эффектом. Это позволяет сегнетоэлектрикам быть активными по отношению к внешним

электрическим, механическим, тепловым, оптическим и акустическим полям. Кроме этого, возможность легирования сегнетоэлектриков магнитоактивными ионами позволяет создавать сегнетомагнетики, которые активны к внешним магнитным полям. Наличие эффектов, обратных к указанным, позволяет создавать активные механические, тепловые и магнитные воздействия на внешнюю среду. Наличие постоянного дипольного момента (спонтанной поляризации) в сегнетоэлектриках позволяет создавать на их основе сегнетоэлектрические транзисторы, которые могут быть как элементами памяти, так и вычислительными элементами киберфизической системы.

Таким образом, использование сегнетоэлектрических материалов в качестве вычислительных и физических элементов системы позволяет организовать полный цикл «управление – получение данных – обработка данных – управление», необходимый для функционирования киберфизической системы. А расширяющаяся номенклатура сегнетоэлектриков позволит создавать киберфизические системы с требуемыми характеристиками.

Зависимость эффективности регистрации детектора LaBr_3 от энергии гамма-квантов в диапазоне энергий от 0,025 до 15 МэВ

И.С. Левцов, к.ф.-м.н. С.В. Колесников

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В данной работе представлены результаты исследования зависимости эффективности регистрации детектором LaBr_3 от энергии гамма-квантов в диапазоне энергий от 25 кэВ до 15 МэВ.

В ходе работы по идентификации пиков полного поглощения от элементов по спектру было выдвинуто предположение о сильном влиянии зависимости эффективности регистрации от энергии гамма-квантов. Выявление данной зависимости позволит скорректировать все дальнейшие работы по идентификации пиков полного поглощения на спектрах.

Для решения данной проблемы был проведен ряд экспериментов с образцовыми спектрометрическими гамма-источниками, а именно: ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{207}Bi , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{22}Na . Экспериментальная установка состояла из детектора LaBr_3 с диаметром сцинтилляционного кристалла в 3 дюйма, счетчика green star, а в последующих экспериментах использовалась установка для идентификации элементного состава горных пород со счетчиков CAEN.

Также была создана модель установки в среде GEANT 4, где был проведен ряд экспериментов с облучением детектора моноэнергетическим потоком гамма-квантов от 25 кэВ до 15 МэВ.

Далее была разработана программа в среде Matlab для расчета эффективности реги-

страции. Данная программа использует следующие входные данные: расстояние между источником и сцинтиллятором, активность источника, спектр от детектора, энергию и интенсивность пиков полного поглощения от источника или показатель энергии от моноэнергетического потока гамма-квантов в случае данных от GEANT 4. Программа, аппроксимируя данный спектр функцией Гаусса, находит пики полного поглощения от источника и определяет их площадь. Исходя из данной площади и входных данных, программа нашла зависимость эффективности регистрации от энергии гамма-квантов для каждого из экспериментов.

По итогу была получена зависимость между эффективностью регистрацией гамма-квантов для установки по идентификации элементного состава горных пород с детектором LaBr_3 с диаметром сцинтилляционного кристалла в 3 дюйма от энергии гамма-квантов в диапазоне от 25 кэВ до 15 МэВ. Зависимость от модели в GEANT 4 совпала с экспериментальными данными в пределах погрешности с доверительной вероятностью в 95%, что позволяет её использовать для дальнейших работ.

Автоматизация процесса определения элементного состава горных пород методом нейтронно-радиационного анализа

В.А. Леднев, О.В. Чакилев, к.ф.-м.н. С.В. Колесников

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

В докладе представлены средства автоматизации элементного анализа вещества на основе нейтронно-радиационного анализа, реализованного в рамках дальнейшего развития данной работы.

Преимуществами нейтронно-радиационного метода анализа являются отсутствие пробоподготовки, возможность определения легких элементов, особо высокая чувствительность к хлору, никелю и ряду редкоземельных элементов. Однако получаемые в этом методе спектры гамма-излучения имеют сложную структуру. Сложность получаемых спектров напрямую влияет на время их обработки, и как следствие – на общее время анализа.

В целях ускорения процесса анализа создается программа с доступом к базе данных гамма-излучения радиационного захвата для качественного определения элементного состава по параметрам пиков получаемого аппаратурного спектра. Программа предоставляет список возможных элементов, линий гамма-излучения радиационного захвата, которые соответствуют позициям центроидов пиков полного поглощения, а также информацию о других характерных линиях этих элементов.

В анализе образцов неизвестного состава значительной сложностью может стать определение параметров пиков элементов в силу возможного их наложения от различных источников, присущих гамма-спектрам. Для оптимизации качественного анализа была выбрана модель машинного обучения Adaptive Boosting, на основе которой построена программа определения элементного состава из аппаратурного спектра без непосредственного участия человека. Данный метод слабо подвержен переобучению, однако на его работу сильно влияет наличие выбросов, что должно быть учтено в предобработке аппаратурных спектров.

Еще одним подходом к определению элементного состава образца является их разложение на опорные гамма-спектры элементов. Реализация такого подхода в дальнейшем может не только улучшить результативность качественного анализа, но и позволит проводить автоматический количественный анализ вещества.

О механизме генерации нейтронов в камерах инерциального электростатического удержания плазмы

д.т.н. **Б.Д. Лемешко**, И.А. Прокуратов, к.т.н. Ю.В. Михайлов
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» - Москва, Россия

В работе рассмотрен механизм генерации нейтронного излучения в газонаполненных камерах, использующих эффект инерциального электростатического удержания плазмы. Нейтронное излучение появляется в результате реакций ядерного синтеза дейтерия и трития.

Явление инерциального электростатического удержания плазмы (ИЭУП) в газонаполненных разрядных камерах используется для генерации нейтронов при наполнении камер тяжелыми изотопами водорода. Нейтронное излучение появляется в результате реакций ядерного синтеза: $d(d,n)He^3$, $d(T,n)He^4$, $T(T,n)He^4$, возникающих при приложении электрического напряжения к электродам камеры. Давление газа в камерах составляет 10^{-2} – 10^{-3} мм рт. ст.

В данной работе рассмотрена работа разрядной камеры ИЭУП, наполненной

дейтерием в режиме генерации ионов D_2^+ внешним источником. Проведено обсуждение влияния ряда процессов в дейтериевой плазме: резонансной перезарядки, вторичной ион-электронной эмиссии, ударной ионизации молекул дейтерия ускоренными электронами и ионами. Эти факторы влияют на концентрацию и энергетическое распределение ионов дейтерия D_2^+ , определяющих генерацию нейтронов в камере ИЭУП. Рассмотрено влияние частичного насыщения материала катода дейтерием на генерацию фоновых нейтронов камерой ИЭУП.

Применение метода меченых нейтронов для элементного анализа железной руды

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

¹ ООО «Диамант» – Дубна, Россия;

² Объединенный институт ядерных исследований – Дубна, Россия

В работе рассматриваются результаты использования стационарного анализатора АГП-Ф для элементного анализа железной руды. Обсуждаются результаты работы и приводится сравнение полученных данных со значениями химического анализа.

В данном исследовании представлены результаты использования стационарного анализатора АГП-Ф для экспрессного определения массовой концентрации элементов в железной руде методом меченых нейтронов (ММН). Этот метод позволяет определить в исследуемом образце массовые концентрации 25 различных элементов.

Материал облучается потоком быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ, которые создаются портативным нейтронным генератором ИНГ-27, изготовленным ФГУП «ВНИИА имени Н.Л. Духова». Гамма-лучи,

возникающие в результате неупругого рассеяния, регистрируются с помощью 12 детекторов, основанных на кристалле ВGO. Концентрации искомых элементов определяются по гамма-спектрам. Благодаря процедуре мечения нейтронов влияние фоновых шумов уменьшается в 200 раз.

Анализ одной пробы занимает всего 15 минут и не требует специальной пробоподготовки. В работе приводится сравнение данных АГП-Ф со значениями химического анализа. Обсуждаются результаты работы анализатора на действующем предприятии.

Влияние вторичных процессов на потоки частиц в миниатюрном линейном ускорителе

М.С. Лобов, И.А. Каньшин

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

В работе представлены результаты расчета динамики пучка заряженных частиц путем моделирования их траекторий в ионно-оптической системе миниатюрного линейного ускорителя с учетом влияния электростатических полей электродов и вторичных процессов при взаимодействии с рабочим газом. Показана зависимость угловых и энергетических распределений потоков частиц на мишень и электроды системы от ускоряющего напряжения и давления.

Значительной проблемой для функционирования миниатюрных линейных ускорителей является запыление изолирующих деталей проводящим материалом электродов. Для корректной оценки распыления электродов представляется необходимым моделирование потоков частиц на электроды системы, возникающих по причине взаимодействия первичного пучка ионов с нейтральным рабочим газом.

В данной работе представлены результаты численного моделирования динамики пучка заряженных частиц в электродной системе миниатюрного линейного ускорителя с учетом вторичных процессов. Учитывались упругое рассеяние частиц, ионизация, резонансная перезарядка и возбуждение фонового газа ионами первичного пучка. Расчеты проводились в программном па-

кете COMSOL Multiphysics. В качестве начальных данных задавались координаты и скорости ионов в Пеннинговском ионном источнике. Выходными данными служили данные по координатам, скоростям и углам прилета частиц (как ионов, так и нейтралов) на мишень и электроды системы. Также строился профиль плотности тока ионов на поверхности мишени. Расчеты проводились при различных комбинациях рабочего давления и ускоряющего напряжения.

Полученные результаты позволили обозначить участки электродов, в наибольшей степени подвергающиеся воздействию потоков частиц. Также были выработаны рекомендации по наиболее предпочтительным режимам работы миниатюрного линейного ускорителя.

Моделирование глубококоллимированной системы формирования пучка излучения дефектоскопов затворного типа и количественная оценка параметров рабочих пучков излучения по фактору «сигнал/шум»

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 рассматриваются вопросы, связанные с моделированием глубококоллимированной системы формирования пучка излучения дефектоскопов переносного класса затворного типа применительно к излучателям на основе радионуклида ¹⁹²Ir с количественной оценкой шумовых эффектов рабочего пучка излучения в формате цифровых технологий, а также влияние геометрической ориентации капсулы излучателя в системе глубокой коллимации на вклад в шумовой эффект.

Одним из методов контроля, применяемых в различных отраслях промышленности, является радиографический. Данный метод отличается высокой достоверностью и позволяет документально регистрировать макроструктуру материалов в условиях изготовления, монтажа, ремонтных и планово-предупредительных работ, в том числе при контроле сварных соединений аустенитного класса.

Высокое качество радиографического метода контроля с относительной чувствительностью 1–2 % в диапазоне радиационных толщин до 70 мм по стали достигается с использованием серийных средств радиографического контроля (СРК) переносного класса, выполненных на основе систем глубокой коллимации и оснащаемых серийными излучателями на основе радионуклидов ¹⁹²Ir и ⁷⁵Se.

С использованием программных комплексов получены результаты расчётов влияния конструктивных версий системы формирования рабочего пучка излучения по фактору «сигнал/шум» для источников на основе ¹⁹²Ir.

Проведены натурные эксперименты для классической пирамидально-прямоугольной системы глубокой коллимации с разной геометрической ориентацией источника на основе ¹⁹²Ir с активной частью Ø1,5×1,5 и фокусным расстоянием 150 мм, представлены результаты эксперимента в виде радиографических снимков.

По результатам моделирования и экспериментов сделаны выводы и даны рекомендации по разработке радиографической аппаратуры переносного класса «Р» затворного типа с системой глубокой коллимации.

Исследование способов улучшения отношения эффект/фон в устройствах с мечеными нейтронами

А.Д. Мазницин, д.ф.-м.н. М.Д. Каретников

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

Дана оценка возможности измерения фонового спектра альфа-гамма-совпадений по спектру без совпадений, а также использования «активной» защиты гамма-детекторов от излучения генератора нейтронов. Получена зависимость параметров сигналов с альфа-детектора с увеличением размеров пикселей альфа-детектора, используемого для реализации активной защиты.

В устройствах с мечеными нейтронами некоррелируемый фон, обусловленный взаимодействием с веществом «немеченых» нейтронов (не сопровождаемых сопутствующими альфа-частицами) и вторичным гамма-излучением, значительно уменьшен за счет пространственно-временной дискриминации событий. Дальнейшее снижение некоррелируемого фона, в основном, производится путем пассивной защиты гамма-детекторов от излучения генератора нейтронов. Это приводит к увеличению габаритов и веса установки, что является критическим для ряда применений.

При обработке данных от устройств с мечеными нейтронами необходимо определять фоновый гамма-спектр и производить его вычитание из измеренного спектра гамма-излучения. Обычно фоновая составляющая спектра считывается в определенном участке временного окна регистрации альфа-гамма-совпадений, в котором должны отсутствовать события, обусловленные вза-

имодействием меченых нейтронов со средой. Этот временной участок должен быть достаточно большой, что нежелательно при высоких значениях потока нейтронов и угла вылета меченых нейтронов, когда необходимо снижать размер временного окна из-за наложений сигналов с альфа-детектора. Другим недостатком такого подхода является большая стандартная неопределенность типа А измерения фонового спектра из-за относительно малого поканального количества отсчетов в спектре.

В настоящей работе рассматриваются возможности измерения фонового спектра альфа-гамма-совпадений по спектру без совпадений, а также использование «активной» защиты гамма-детекторов от излучения генератора нейтронов. Исследуется зависимость параметров сигналов с альфа-детектора с увеличением размеров пикселей альфа-детектора, используемого для реализации активной защиты.

Исследование режимов зажигания разряда в малогабаритном ионном источнике Пеннинга

И.М. Мамедов, д.т.н. С.П. Масленников

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

В работе представлены результаты численного моделирования распределений электромагнитных полей и потоков энергии, а также экспериментального исследования режимов горения разряда в ионном источнике Пеннинга, предназначенного для нейтронной аппаратуры и малогабаритных ускорительных систем. На основе полученных данных определены условия зажигания побочного разряда, предложена конфигурация магнитной системы ионного источника, позволяющая устранить этот эффект.

Нейтронные генераторы применяются при проведении исследований в различных научных областях и в производственных технологиях. Формирование нейтронных потоков происходит в результате термоядерных реакций изотопов водорода при взаимодействии ускоренных ионов с твердотельной мишенью нейтронной трубки.

Широкое распространение малогабаритных ускорительных систем приобрели ионные источники на основе разряда Пеннинга, от режимов работы которых во многом зависят стабильность, ресурс и эффективность практического применения создаваемой аппаратуры. Режимы горения и характеристики разряда Пеннинга зависят от геометрических параметров электродной системы, напряжения питания, состава и давления газа, параметров магнитного поля и др.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования электрических и магнитных полей, вектора

плотности потока энергии в ионном источнике. Полученные расчетные данные позволили выявить локальные области вне ячейки Пеннинга, где создавались условия для зажигания побочного тлеющего разряда. Работа ионных источников с подобными побочными разрядами сопровождается ускоренным запылением изолятора и снижением срока службы изделия.

Экспериментальные исследования, проведенные на лабораторном стенде с использованием макетов ионных источников, позволили провести валидацию расчетных результатов и изучить зависимости режимов работы ионного источника от параметров используемой магнитной системы. По результатам выполненных работ предложена конфигурация построения магнитной системы ионного источника, исключающая зажигание побочных разрядов и повышающая стабильность работы разрабатываемой аппаратуры.

Экспериментальные исследования разряда в газовой среде, инициированного излучением оптического диапазона

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

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

В работе представлены результаты экспериментальных исследований разряда в газовой среде, инициированного излучением Nd: YAG лазера наносекундной длительности умеренной энергии. Получены экспериментальные данные по времени формирования тока в миллиметровом зазоре при различных давлениях газовой среды и материалах мишени.

В докладе приведены результаты экспериментальных исследований разряда в газовой среде, возникающего при воздействии импульсного излучения оптического диапазона умеренной энергии на мишень из различных материалов при разных давлениях и напряжениях в межэлектродном промежутке.

Данные по энергии излучения управления разрядом показывают, что уровень энергии, при котором наблюдается стабильное зажигание разряда, определяется в первую очередь соотношением между статическим пробивным напряжением U_0 и рабочим напряжением $U_{\text{раб}}$ в межэлектродном промежутке.

Создание калибровочного источника гамма-излучения с энергией 6,13 МэВ

М.Ю. Мишин¹, Р.Ф. Ибрагимов¹, к.ф.-м.н. Е.В. Рябева¹,
д.т.н. С.Б. Чебышов², В.А. Кишев²

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

² АО «СНИИП» – Москва, Россия

Работа посвящена исследованию возможности создания стенда, позволяющего получать моноэнергетические гамма-кванты с энергией 6,13 МэВ. Гамма-излучение данной энергии образуется при распаде ядер ^{16}N , который, в свою очередь, генерируется в процессе активации в поле нейтронов с энергией порядка 14 МэВ по реакции $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$. В качестве источника нейтронов применяется портативный нейтронный генератор на основе D-T реакции. С использованием Geant4 рассчитаны значения величин потока нейтронов для получения источника заданной активности по изотопу ^{16}N . Созданная модель верифицирована результатами эксперимента. Полученные результаты могут быть применимы в решении задач по калибровке дозиметрического и спектрометрического оборудования.

В настоящий момент времени существуют различные способы получения моноэнергетических гамма-квантов высоких энергий. Среди них можно выделить получение гамма-квантов в результате реакций радиационного захвата тепловых нейтронов на мишенях из титана (до 7 МэВ) и никеля (до 10 МэВ). Также в этих целях могут быть использованы изотопные источники с высокими энергиями вылета гамма-квантов (^{228}Th , ^{226}Ra , ^{140}La , ^{124}Sb , ^{72}Ga и др.).

Особенностью первого способа является тот факт, что получаемые гамма-кванты испускаются в результате реакции радиационного захвата и образуются в момент взаимодействия нейтрона с ядром атома вещества. В связи с этим использование подобного источника гамма-излучения осложнено наличием сопутствующего нейтронного поля.

Особенностью второго способа является сравнительно низкая энергия получаемых

гамма-квантов (менее 3 МэВ), что малоприменимо для калибровки аппаратуры в областях высоких энергий.

Концепция моделируемого стенда для получения гамма-квантов с энергией 6,13 МэВ подразумевает разнесенное размещение нейтронного генератора и измерительной аппаратуры. Кроме этого, реакция $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$ является пороговой и протекает при энергиях нейтрона не менее 10 МэВ, что исключает влияние поля рассеянных нейтронов и позволяет с большой точностью рассчитать величину наведенной активности.

Таким образом, источник гамма-квантов, рассматриваемый в данной работе, потенциально может быть использован как для энергетической калибровки, так и для калибровки по эффективности регистрации.

Программно-техническая реализация алгоритма работы постов радиационного контроля АСКРО при различных режимах работы АЭС

д.т.н. С.Б. Чебышов, **Р.А. Насибуллин**, А.С. Гордеев,
М.В. Орлов, И.А. Ащеулов, К.Ю. Кротов

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе рассмотрена аппаратная и программная реализация функциональных проектных требований, предъявляемых к постам радиационного контроля системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) при штатном и аварийном режиме функционирования АЭС. Приведено описание алгоритма работы постов радиационного контроля, показаны технические решения при реализации функций передачи статусной и измерительной информации без запроса с верхнего уровня АСКРО при резервированных линиях передачи данных, приведено описание протокола обмена данными с учетом режимов работы АЭС.

В ходе разработки новой линейки постов радиационного контроля (посты) АСКРО были учтены проектные технические требования как к надежностным характеристикам, так и к выполняемым функциям постов в штатном и аварийном режиме работы АЭС. АСКРО является системой радиационного контроля, располагаемой в СЗЗ и в ЗН за пределами АЭС, основными средствами измерения ионизирующих излучений в данной системе являются посты радиационного контроля, которые должны выполнять следующие функции: непрерывное измерение уровня МАЭД фотонного излучения, формирование сигналов превышения ПУ и АУ и передача информации по собственной инициативе на ЦПК, поддержание работы поста в рабочем состоянии при отключении внешнего электропитания и зарядка встроенных элементов электропитания, запись информации о накопленной дозе фотонного излучения за все время измерения; накопление и хранение информации в течение

не менее 72 ч; самоконтроль и диагностика исправности поста, передача в ЦПК по собственной инициативе информации об отказах оборудования; передача в ЦПК по собственной инициативе информации о потере внешнего электропитания и переходе на электропитание от АКБ; передача в ЦПК по собственной инициативе информации о несанкционированном вскрытии поста и т.д.

В работе приведен алгоритм реализации вышеуказанного функционала постов с учетом требований по обеспечению надежности связи (резервирования каналов передачи данных) с использованием различных аппаратных средств, показана разработанная структурная схема поста и принятые технические решения для обеспечения заявленных функций. Приведено описание протокола передачи данных с учетом функций передачи статусной и измерительной информации от постов по собственной инициативе без команды запроса с верхнего уровня АСКРО.

Новая металлокерамическая трубка для малогабаритной каротажной аппаратуры на базе генератора нейтронов типа ИНГ-08

Н.С. Носиков, к.т.н. С.В. Сыромуков

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

Представлены результаты разработки металлокерамической трубки ГНТ2-30 с торцевым магнитом в источнике ионов для малогабаритной каротажной аппаратуры на базе генератора нейтронов типа ИНГ-08. Особенности трубки являются повышенная величина потока и ресурса, высокая надежность. Трубка устойчива к воздействию внешних магнитных полей. Ресурс ГНТ2-30 составляет 530 ч при потоке $1 \cdot 10^8$ нейтрон/с.

Использование аппаратуры малого диаметра на базе генератора нейтронов типа ИНГ-08 позволяет проводить исследования скважин без подъема технологической колонны. Генератор нейтронов должен надежно работать не менее 500 ч при потоке нейтронов не менее $1 \cdot 10^8$ нейтрон/с и быть устойчивым к воздействию внешних магнитных полей. Для обеспечения указанных параметров требовалось разработать новую каротажную трубку малого диаметра.

В отечественных трубках используются источники ионов с внешними кольцевыми магнитами. Альтернативой им являются трубки с торцевыми магнитами в источниках ионов.

При использовании торцевых магнитов на поверхности катода в газоразрядной камере создается неоднородное магнитное поле, спадающее к антикатоде. Источники этого типа работают при меньших давлениях, а значит, обеспечивают более высокую электрическую прочность и, соответственно, надежность при эксплуатации.

В работе представлены результаты разработки новой металлокерамической трубки ГНТ2-30.

Испытания показали, что ресурс трубки малого диаметра ГНТ2-30 превышает 530 ч при потоке $(1,00 \pm 0,13) \cdot 10^8$ нейтрон/с и не менее 1300 ч – при потоке $(0,50 \pm 0,05) \cdot 10^8$ нейтрон/с.

Генератор нейтронов на базе камеры инерциального электростатического удержания плазмы

И.А. Прокуратов, к.т.н. Ю.В. Михайлов, д.т.н. Б.Д. Лемешко,
к.ф.-м.н. И.В. Ильичев, к.т.н. А.К. Дулатов, О.Д. Тюпина
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

Работа посвящена исследованиям генератора нейтронов на базе камеры инерциального электростатического удержания плазмы и его параметров как источника нейтронов с энергией 14 МэВ.

Системы инерциального электростатического удержания плазмы (ИЭУП) широко распространены для исследований в области ядерного синтеза. Одним из наиболее распространенных применений ИЭУП является генерация нейтронного излучения. В работе приводятся результаты разработки и испытаний нейтронного генератора на базе камеры ИЭУП. Генератор представляет собой стационарно размещаемую модульную конструкцию, в состав которой входят электронные блоки питания и управления, система поддержания рабочей температуры и модуль излучателя нейтронов. Генерация нейтронов с энергиями 14 МэВ происходит в результате DT-реакций ядерного синтеза, протекающих в газоразрядной камере ИЭУП. Камера имеет сферическую геометрию с диаметром корпуса $\varnothing 120$ мм с использованием восьми источников ионов.

Приводятся результаты экспериментальных исследований работы генератора в различных режимах, исследования совместной

работы ионных источников, влияния значений ускоряющего напряжения, тока основного разряда, токов ионных источников и давления рабочего газа на нейтронный выход и получаемые рабочие режимы. Полученные результаты позволили выработать способы контроля и регулировки параметров генератора для получения стабильных, рабочих характеристик.

При проведении экспериментальных работ по исследованию ресурса генератора в режиме с ускоряющим напряжением ~ 90 кВ, суммарном токе разряда ~ 6 мА и температуре камеры ИЭУП $+40$ °С получен стабильный нейтронный поток $(1,0 \div 1,3) \cdot 10^8$ нейтрон/с. Экспериментально подтвержденный ресурс работы генератора в данном режиме на момент представления результатов превысил 200 ч. При этом наблюдается высокая стабильность генерируемого нейтронного потока и хорошая воспроизводимость рабочего режима.

Определение элементного состава полиметаллических руд методом меченых нейтронов

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

¹ ООО «Диамант» – Дубна, Россия;

² Объединенный институт ядерных исследований – Дубна, Россия

Полиметаллические руды содержат в себе целый ряд химических элементов, среди которых важнейшими являются свинец и цинк. Месторождения руды разрабатываются подземным и открытым способами. При переработке полиметаллической руды получают два основных вида концентратов, свинцовый и цинковый. Извлекаемые из полиметаллических руд металлы находят широкое применение во всех отраслях народного хозяйства. Так, свинец широко используется в качестве защитного материала в химическом и кабельном производстве, а также в сфере обороны. Цинк незаменим в производстве химических источников тока, а также в полиграфии. С его помощью восстанавливают благородные металлы и защищают сталь от коррозии.

Обсуждаются результаты работы лабораторной установки по определению элементного состава руды методом меченых нейтронов как альтернативы стандартному подходу – рентгенофлуоресцентному анализу. Метод меченых нейтронов позволяет получать результаты оперативно, без траты времени и реагентов на иные методы анализа состава проб в поточном режиме.

Установка состоит из нейтронного модуля, который включает в себя портативный нейтронный генератор ИНГ-27 производ-

ства ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» со встроенным 9-пиксельным альфа-детектором, систему из 14 гамма-детекторов на основе кристалла BGO, систему сбора данных, системы питания детекторов и нейтронного генератора.

В лабораторных условиях были измерены пробы полиметаллической руды. Определены точности определения массовой концентрации элементов и оценена сходимость с результатами химического анализа.

Скважинная аппаратура импульсного нейтрон-нейтронного каротажа с генератором 2,5 МэВ нейтронов

М.В. Ревякин, А.Э. Яшканова

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

В работе приведены результаты определения нейтронной пористости горных пород с помощью малогабаритной аппаратуры импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК) с безопасным генератором с энергией нейтронов 2,5 МэВ на основе D-D реакции, который позволит снизить риски применения источников нейтронов при хранении, перемещении и работе.

Определены оптимальные размеры измерительных зондов скважинного прибора, состоящих из гелиевых He^3 нейтронных счетчиков малого диаметра для ближнего зонда и большого диаметра для дальнего зонда.

Разработан макет скважинного прибора и проведены измерения на моделях горных пород. Результаты измерений использовались для настройки расчетной модели скважинного прибора, на основе которой методом Монте-Карло рассчитаны калибровочные зависимости измеряемых параметров аппаратуры от нейтронной пористости для различных конструктивных

параметров прибора, скважины и состава горной породы.

Погрешность измерения нейтронной пористости, полученная аппаратурой ИННК с генератором на основе D-D реакции, имеющим поток нейтронов $2 \cdot 10^6$ нейтрон/с, меньше чем погрешность, полученная серийной аппаратурой с генератором нейтронов на основе D-T реакции, имеющим поток нейтронов $1 \cdot 10^8$ нейтрон/с, и меньше чем погрешность, полученная аппаратурой с изотопным плутоний-бериллиевым источником, имеющим поток нейтронов $\approx 1 \cdot 10^7$ нейтрон/с.

Использование метода меченых нейтронов для сортировки лома огнеупорных материалов

к.ф.-м.н. В.Ю. Алексахин^{1,2}, А.И. Личкунова¹, И.К. Комаров¹,
Е.А. Разинков¹, **Ю.Н. Рогов**^{1,2}, д.ф.-м.н. М.Г. Сапожников^{1,2}

¹ ООО «Диамант» – Дубна, Россия;

² Объединенный институт ядерных исследований – Дубна, Россия

В работе обсуждается возможность применения конвейерного анализатора на методе меченых нейтронов для сортировки лома огнеупорных материалов. Приводится описание работающего прототипа программного обеспечения для определения типа огнеупорного материала по спектру его характеристического гамма-излучения и проводится обсуждение полученных результатов.

Обсуждается разработка системы для автоматической сортировки лома огнеупорных материалов и результаты проверки работы прототипа данной системы на образцах огнеупорных материалов. Сортировка образцов производится на основе спектров характеристического гамма-излучения, полученного после облучения образцов мечеными нейтронами. Экспериментальный стенд, на котором производится облучение образцов, состоит из нейтронного генератора ИНГ-27 производства ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», системы из 14 гамма-детекторов, системы питания, системы

сбора данных и движущейся модели конвейера, на которой размещаются образцы. Анализ производился для данных, соответствующих времени облучения образца от 10 до 60 с.

Результаты исследования показывают, что возможно создать систему сортировки огнеупорных материалов, в том числе бывших в употреблении, по спектру характеристического гамма-излучения. Число классов сортировки составило 12, а минимальное требуемое время облучения для точности классификации 0,95 составило 20 с.

Спектральные характеристики лабораторных изотопных нейтронных источников на основе плутония

к.ф.-м.н. **Е.В. Рябева**¹, д.т.н. С.Б. Чебышов², И.В. Урупа¹, Р.Ф. Ибрагимов¹

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

² АО «СНИИП» – Москва, Россия

Настоящая работа посвящена анализу имеющихся в распоряжении авторов радиоизотопных источников быстрых нейтронов на основе плутония и их спектров, измеренных с помощью сцинтилляционных детекторов. Рассмотрены различия спектров источников и обоснована значимость различий спектров при применении источников в различных областях исследований.

В качестве эталонного поля нейтронов в стандарте ISO 8529 указаны спектр источника на основе ^{241}Am с бериллием. В России в качестве эталонного используется источник $^{238}\text{PuBe}$. При этом считается, что такая замена не влияет на характеристики нейтронного поля и эффективности регистрации аппаратурой. В данной работе оценим возникающую при такой замене относительную погрешность измеряемых величин, в частности, значение эквивалента дозы.

В нейтронных лабораториях и в прикладных задачах широкое распространение получил источник нейтронов на основе смеси изотопов плутония и бериллия. Генерация нейтронов в таком источнике идет за счет реакции взаимодействия α -частицы, испускаемой изотопом Pu, с ядром изотопа ^9Be . В качестве источника α -частиц может использоваться ^{239}Pu с периодом полураспада 24 360 лет или ^{238}Pu с периодом полураспада 89,4 лет. Большие периоды полураспада Pu и относительно невысокая цена определили популярность источника в лабораторной практике, где необходимы невысокие плотности потока нейтронов. Однако технология производства источника приводит к наличию в его составе некоторой изотопной смеси плутония, например, из изотопов ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu , которые имеют

различные периоды полураспада, а также являются источниками α -частиц с разными энергиями. Так, сложный химический и изотопный состав источника приводит к тому, что спектры нейтронов изотопных источников на основе смеси Pu и Be зависят от технологии производителя, размеров, возраста и оригинального изотопного состава. Спектры нейтронных источников, приведенные в наиболее часто реферируемых источниках, можно рассматривать только как примерные, относящиеся к одному конкретному измеренному источнику. Также следует отметить, что характерные особенности экспериментально полученных нейтронных спектров изотопных источников значительно зависят от метода спектрометрии.

Анализаторы элементного состава вещества на основе метода меченых нейтронов

д.ф.-м.н. **М.Г. Сапожников**

ООО «Диамант» – Дубна, Россия

Обсуждаются результаты эксплуатации поточных и стационарных анализаторов элементного состава вещества на основе метода меченых нейтронов.

В настоящее время метод меченых нейтронов (ММН) активно используется в стационарных и поточных анализаторах для контроля за элементным составом агломерационной шихты, угля, железных и фосфатных руд. Обсуждаются результаты

работы анализаторов ММН. Разработаны также новые применения ММН для сепарации железных руд и сортировки бывших в употреблении огнеупоров с использованием нейронных сетей.

Измерение потока быстрых нейтронов спектрометрическим стендом на основе органического сцинтиллятора

И.В. Урупа, Р.Ф. Ибрагимов, к.ф.-м.н. Е.В. Рябева, М.И. Бабич

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - Москва, Россия

Доклад посвящен демонстрации результатов измерений потока быстрых нейтронов от радиоизотопного (α, n) источника, а также квазинепрерывного источника D-T нейтронов (ИНГ) разработанным спектрометрическим стендом на основе детектора с монокристаллическим стибленом. Результатом представленного метода является значение потока быстрых нейтронов по результатам восстановления энергетического спектра в точке измерения. При этом нижняя граница определяемой энергии нейтронов составляет 1 МэВ. Верификация результатов измерений осуществляется путем сравнения полученных результатов с показаниями прибора ИНПА (измеритель нейтронного потока автоматизированный), имеющего основную относительную погрешность не более 14%, а также с результатами расчета потока нейтронов с помощью активационной методики. Показано, что результаты измерений потока нейтронов по результатам спектрометрии совпадают с вышеуказанными методами в пределах указанной относительной неопределенности.

Спектрометрический стенд основан на методе протонов отдачи, при этом осуществляется возможность отдельной регистрации нейтронов и γ -квантов по форме сцинтилляционной вспышки. Ошибка в определении вида частицы составляет не более 5%. По результатам измерений аппаратных спектров протонов отдачи с помощью модельной матрицы откликов, учитывающей оптические процессы в сцинтилляционном детекторе, восстановлены энергетические распределения быстрых нейтронов в точке измерения.

Экспериментальная часть работы заключается в измерении потока быстрых нейтронов от непрерывных и квазинепрерывных

источников спектрометрическим стендом, прибором ИНПА и активационным методом с применением медной пластины и сцинтилляционного спектрометра LaBr_3 . Измерения потоков от источника D-T нейтронов осуществлялись при разных углах вылета нейтронов из мишени ИНГ. Отличительной особенностью метода измерения потока нейтронов по энергетическому спектру является возможность оценки вклада прямых 14 МэВ и рассеянных нейтронов, попавших в детектор, с последующим пересчетом на поток нейтронов из источника. Кроме этого, возможно получение расчета дозовых характеристик поля быстрых нейтронов в точке измерения.

Импульсный нейтронно-радиационный метод исследования скважин малогабаритным прибором для определения пористости горных пород

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

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

Данная работа посвящена исследованию взаимодействия нейтронов с веществом в процессе импульсного-нейтронного гамма-спектрометрического каротажа новым малогабаритным прибором ИНГК-50С с уменьшенным внешним диаметром 50 мм. Задачей является оптимизация расположения ближнего и дальнего детекторов относительно мишени нейтронного генератора для минимизации погрешности определения водородосодержания. В качестве результатов даются рекомендации по оптимальным зондовым расстояниям.

Как известно, одним из наиболее применяемых и информативных методов исследования горных пород является метод импульсного нейтронного гамма-каротажа спектрометрического (ИНГК-С). Широко используемая аппаратура на его основе АИНК-ПЛ и АИНК-73С-2, доказавшая свою эффективность, имеет внешний диаметр 89 мм и 73 мм, соответственно. Однако существует потребность в исследовании скважин малого диаметра через насосно-компрессорные трубы. Поэтому на данный момент на ФГУП «ВНИИА» ведутся работы по разработке нового малогабаритного прибора ИНГК-С с внешним диаметром 50 мм.

В данной работе основное внимание уделяется математическому моделированию откликов гамма-излучения радиационного

захвата (ГИРЗ) в геометрии прибор-скважина и определяемому параметру водородосодержания. Известно, что водородосодержание определяется как отношение счетов ГИРЗ ближнего зонда к дальнему. Поэтому их расположение или же зондовые расстояния (расстояние между мишенью генератора и серединой кристалла детектора) влияют на расчёт водородосодержания.

В результате моделирования и анализа результатов получены зондовые расстояния, при которых погрешность определения водородосодержания будет минимально возможной, что соответствует наилучшему определению пористости. Полученные зондовые расстояния соответствующих детекторов могут быть учтены при проектировании аппаратуры в качестве рекомендаций.

Элементный анализ образцов никелевой руды нейтронно-радиационными методами

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 элементного состава образцов никелевых руд. Методика нейтронно-радиационного анализа основана на регистрации вторичного гамма-излучения образца, возникающего в реакциях радиационного захвата термализованных нейтронов.

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. Образец расположен в цилиндрическом контейнере размерами $\varnothing 10 \times 4,5$ см. Для выравнивания плотностей исследуемый образец замешивался с щавелевой кислотой. Плотность всех образцов составляла порядка 1 г/см^3 .

Массовые доли исследуемых элементов в образцах руды определялись на основе градуировочных зависимостей. С помощью данного метода неизвестная массовая доля элемента определяется на основе полученных заранее значений площади под пиком полного поглощения на спектре гамма-излучения радиационного захвата тепловых нейтронов. Для этого необходимо в одина-

ковых условиях провести эксперименты по облучению проб с различными концентрациями исследуемого элемента. Далее измеряется площадь под пиком элемента и строится зависимость от массовой доли.

В результате работы были определены массовые доли элементов (Si, Fe, Ni, S, Cu) в образцах руды. Полученные значения были верифицированы с помощью рентгенофлуоресцентного анализа и растровой электронной микроскопии.

Проведено сравнение между каналами реакций радиационного захвата и наведенной активности на примере обнаружения Al в объемных образцах с помощью метода градуировочных зависимостей. В результате было обнаружено, что минимально определяемая массовая доля Al по активационным линиям ниже, чем в реакциях радиационного захвата.

Практическая метрология ионизирующего излучения: текущее состояние и задачи развития

д.т.н. **С.Б. Чебышов**, А.В. Журавлев, П.И. Солодских
АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе рассматривается обеспечение эталонным оборудованием и средствами измерений измерительных задач радиационного контроля на примере энергоблока ВВЭР-1200.

Представлен состав измерительных задач радиационного контроля и проведен анализ их обеспечения эталонами и средствами измерений.

Рассмотрен комплекс действующих эталонных установок и стендов Центра метрологии и испытаний АО «СНИИП» и его возможности при проведении испытаний и исследований метрологических характеристик изделий ядерного приборостроения.

Рассмотрены работы ближайшей перспективы по расширению инструментальной базы метрологии.

Представлены практические примеры испытаний и исследований метрологических характеристик и их методическое обеспечение.

Рассмотрены проблемные вопросы метрологии ионизирующих излучений при разработке и выпуске изделий ядерного приборостроения и направления дальнейшего развития.

В докладе отмечается о ключевой роли метрологических эталонных стендов при проведении научных исследований и разра-

ботке новых типов детекторов излучения, средств измерений и/или измерительных каналов на их основе.

В заключительной части доклада отмечается, что технические и метрологические характеристики эталонных стендов по возможности должны:

- превосходить потребности метрологического обеспечения серийно выпускаемых изделий;
- обладать расширенными функциональными и конструктивными возможностями для постановки нестандартных физических экспериментов;
- иметь в своем составе регистрирующую аппаратуру для долговременных измерений, с целью выявления факторов, влияющих на стабильность измерений, а также обладать (при необходимости) техническими возможностями исследования измерений быстропротекающих процессов.

Сепаратор железной руды на основе метода меченых нейтронов

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

¹ ООО «Диамант» – Дубна, Россия;

² Объединенный институт ядерных исследований – Дубна, Россия

Обсуждается конструкция сепаратора железной руды на основе метода меченых нейтронов.

Разработан сепаратор для обогащения железной руды, движущейся на конвейере, в режиме реального времени. Для определения элементного состава руды используется метод меченых нейтронов. В качестве источника нейтронов применяется порта-

тивный нейтронный генератор ИНГ-27. Сепаратор представляет собой установку, состоящую из нейтронного модуля, шкафа управления, сепараторного узла и рабочего места оператора.

Исследование вольтамперных характеристик вакуумных нейтронных трубок

С.Н. Шмелев, В.М. Ермаков, Р.И. Бутов,
к.т.н. А.К. Дулатов, д.т.н. С.П. Масленников
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия

В работе представлены результаты исследований режимов работы вакуумных нейтронных трубок на специализированном экспериментальном стенде. Приводится описание метрологического обеспечения, системы импульсного питания стенда, методов измерения вольтамперных характеристик ускоряющего промежутка нейтронной трубки для схем с заземленным катодом.

Нейтронные генераторы на базе вакуумных нейтронных трубках применяются при решении различных научно-исследовательских и практических задач. В системах импульсного питания генераторов используются как биполярные, так и униполярные схемы формирования импульсов ускоряющего напряжения. Ключевыми элементами выходных каскадов схем питания являются импульсные трансформаторы, от характеристик которых зависят режимы работы, стабильность параметров и надежность нейтронных генераторов. На этапе разработки импульсных трансформаторов, при расчете их электрических и конструктивных параметров, необходимо иметь данные о характеристиках нелинейной нагрузки, в качестве которой выступает ускоряющий промежуток между ионным источником и мишенью трубки.

Построение теоретической модели формирования потоков в вакуумной нейтронной трубке, которая может использоваться для расчета их характеристик, осложняется взаимосвязанным влиянием множества факторов. Определяющее значение для

условий ускорения частиц оказывают конструктивные параметры трубки, используемые материалы, временные и амплитудные параметры системы импульсного питания, режимы срабатывания ионного источника и др. Формируемые потоки заряженных частиц обладают многокомпонентным составом и включают в себя электроны, ионы изотопов водорода и материала электродов (цирконий).

Для проведения исследований режимов работы и определения вольтамперных характеристик вакуумных нейтронных трубок на ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» создан специализированный экспериментальный стенд, в котором реализована схема питания с заземленным катодом и максимальным ускоряющим напряжением 200 кВ.

В работе приводится описание структуры и элементов стенда, предложенных методов измерения вольтамперных характеристик нейтронных трубок, обсуждаются результаты проведенных исследований, которые используются в качестве исходных данных при разработке импульсных трансформаторов для схем питания блоков трубок.

Для заметок:

Для заметок:

III Научно-практическая конференция
«Физико-технические интеллектуальные системы»
(ФТИС-2024)

Сборник тезисов

Составители:

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

Верстка, дизайн: Д.Ю. Жуков

Корректор: А.В. Жукова

Подписано в печать 29.12.2023

Формат 210×297. Печать цифровая. Бумага офсетная

Тираж 120 экз. Заказ № 251171

Отпечатано в типографии ООО «Издательство Юлис»

392010, г. Тамбов, ул. Монтажников, 9

Тел.: +7 (4752) 756-444

www.yulis.ru

sales@yulis.ru



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»

ISBN 978-5-98662-186-9



9 785986 621869