

V НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

« **ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ** »

ФТИС • 2026

СБОРНИК ТЕЗИСОВ



МОСКВА | НИЯУ МИФИ
10-12 ФЕВРАЛЯ 2026 ГОДА

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»



V Научно-практическая конференция
«Физико-технические интеллектуальные системы»
(ФТИС-2026)

Сборник тезисов

ООО «Издательство Юлис»
2026

УДК 004.89:[53:681.518.3+621.039]

ББК 32.973

НЗ4

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

НЗ4 V Научно-практическая конференция «Физико-технические интеллектуальные системы» (ФТИС–2026): Сборник тезисов. – Тамбов: ООО «Издательство Юлис», 2026. – 104 с.

ISBN 978-5-98662-201-9

Сборник содержит тезисы докладов V Научно-практической конференции «Физико-технические интеллектуальные системы» (ФТИС–2026), которая проходит в НИЯУ МИФИ (г. Москва) 10–12 февраля 2026 года.

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

В рамках НПК «ФТИС–2026» работают две секции: «Информационно-измерительные и управляющие системы» и «Киберфизическое, электрофизическое и ядерное приборостроение».

В сборнике публикуются тезисы докладов по широкой тематике НИОКР: от разработок физических принципов создания ядерно-физической аппаратуры, моделирования ядерных и физических процессов до конструирования встроенных интеллектуальных систем и систем обработки данных и исполнительных систем. В материалах докладов рассматриваются актуальные вопросы использования интеллектуальных систем в космических экспериментах, ядерной медицине, геофизике, а также приводятся результаты исследований в фундаментальной науке, энергетике, в области экологического мониторинга, 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 978-5-98662-201-9

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2026

© Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», 2026

© Коллектив авторов, 2026

Место и даты проведения конференции

НИЯУ МИФИ
115409, г. Москва, Каширское ш., д. 31
10-12 февраля 2026 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

Секция «Информационно-измерительные и управляющие системы»	12
Сравнительный анализ методов детекции объектов при развёртывании на периферийных нейропроцессорах для задач автоматизации визуального контроля (М.А. Аванесов , М.В. Алюшин)	13
Нейросетевое восстановление спектра нейтронов с физически информированной функцией потерь (М.А. Акимочкина , Д.С. Борщев, К.А. Чижов)	14
Расширение сервисных возможностей по работе с оборудованием ТПТС-ЕМ (А.А. Архангельский)	15
Пороговый энергетический детектор на ПЛИС семейства Altera Cyclone V SoC (А.А. Шабынин, А.А. Архангельский)	16
Алгоритмы и методы коррекции деградаций в изображениях (Г.В. Архипов , Н.А. Куликов)	17
Применение протоколов управления доступом к среде для управления беспроводными информационными подводными сетями (И.С. Барашков , А.В. Исаев)	18
Бесконтактный способ определения состояния человека с помощью нейросетевых технологий на основе анализа микровибраций головы человека (А.А. Болотов , В.Г. Барчуков, А.С. Галузин, Е.Н. Жирнов, А.А. Ашуркин, В.П. Крючков, И.К. Теснов, К.А. Чижов)	19
Развитие информационно-статистического подхода при анализе индивидуальных поглощённых доз внешнего облучения персонала радиационно опасных объектов за 10 лет (2011-2020 гг.) (Ю.Н. Брагин , А.Г. Цовьянов, В.П. Крючков, А.Г. Сивенков, В.Е. Журавлева)	20
Методы автоматизации перевода методик проверки монтажа в программы проверки (Е.С. Воробьева)	21
Анализ и принцип выбора методов согласования усилителей мощности с гидроакустическими преобразователями (В.В. Гладков , В.Е. Аввакумов)	22
Проблемы тепловыделения и теплоотведения стоек ТПТС (Д.С. Дробышев , А.С. Пнёв, П.Н. Гонодобов)	23
Адаптивная система коррекции ошибок памяти для радиационно стойких RISC-V процессоров космического применения (Р.С. Дыбов)	24

Результаты моделирования автоматического регулятора реакторной установки со свинцовым теплоносителем для вывода из подкритического состояния (С.В. Епифанов , А.О. Толоконский).....	25
Адаптивные многоканальные системы гидроакустической связи: варианты, проблемы и пути решения (Д.А. Зиновьев , А.В. Исаев)	26
Обзор принципов действия и эффективности датчиков в микропроцессорном коленном модуле для протеза бедра (Д.А. Ионин , А.Н. Тажигулов, А.С. Бакшаев, А.И. Максимкин)	27
Структура разнесённой информационно-измерительной системы для получения телеметрической информации (И.А. Исаев , А.Ю. Глухов)	28
Метод LoRA: системные ограничения и перспективы применения (П.П. Карабущенко)	29
Эффективность фотонных вычислений в технологиях ИИ (Д.Д. Ступин, И.В. Мельников, В.А. Козлов).....	30
Обеспечение безопасности реактора РБМК-1000 в процессе полной выгрузки топлива из активной зоны после окончательного останова энергоблока (Г.В. Колибас , А.О. Толоконский).....	31
Проблема устойчивости киберфизических устройств в условиях воздействия «квантовых» угроз (А.А. Комарова , Д.Д. Ступин).....	32
Оценка параметров ближнепольных первичных преобразователей для межсредной связи (С.Д. Комов , А.Ю. Глухов)	33
Анализ интеллектуальной системы автоматического управления энергетической установки с нечётким регулятором (Д.А. Корчагин).....	34
Разработка метода резервирования сервера расчётов системы верхнего уровня АСУ ТП на базе ТИУС (К.А. Куликов , В.О. Лебедев)	35
Аналоговые фотонные вычислительные устройства (Д.М. Линник)	36
Эффективные нейроморфные вычисления на базе фотоники (Д.Д. Ступин, И.В. Мельников, А.Д. Лукьянова).....	37
Подход к логическому выводу в интеллектуальной системе с учётом частоты и динамики данных (Ю.В. Малышев).....	38

Канал воспроизведения малых токов (В.А. Федоров, Е.С. Мартазов , А.В. Менщиков, А.Ф. Фадеев)	39
Сравнительное исследование моделей сегментации изображений для автоматического выделения треков мод на ионограммах радиозондирования ионосферы (С.В. Масюченко , А.О. Щирый)	40
Применение имитационного моделирования для совершенствования процессов пуска наладки автоматических регуляторов энергоблока АЭС с ВВЭР (Д.С. Менюк , А.О. Толоконский).....	41
Интеграция систем управления и сбора данных диагностик с центральной системой управления и инфраструктурой установки ИТЭР (Н.В. Нагорный , С.С. Портоне, Е.Ю. Миронова, Д.И. Гужев, Н.Н. Бутрова, Д.А. Авдюшкин, Т.В. Арбузова, Д.А. Сафин, В.Е. Мельников, А.В. Петракова, Д.В. Бондарев, О.И. Семенов, И.Б. Семенов).....	42
Исследование методов автономного подписания усиленной квалифицированной электронной подписью документов в PLM-системе без доступа к сети интернет (С.И. Новиков , О.В. Ульянин, П.А. Лычагин)	43
Кластерный анализ публикаций по беспроводной связи на основе сигналов с орбитально-модовой модуляцией (А.К. Орешкина , С.А. Петров).....	44
Разработка и интеграция модуля локализации мобильной платформы на основе комплексирования данных с датчиков (К.А. Осипов , Д.Д. Подколзин).....	45
Оценка стоимости бор-нейтронозахватной терапии при использовании компактных нейтронных генераторов (Н.С. Павлюченко , А.О. Толоконский).....	46
Разработка элементов технического проекта диагностики «Спектроскопия Водородных Линий» в Enterprise Architect (А.В. Петракова , Н.В. Нагорный, Н.Н. Бутрова, Д.М. Бондарев, Д.А. Авдюшкин, Д.И. Гужев)	47
Автоматизация обнаружения и идентификации удалённо управляемых средств измерений (Д.А. Родионов)	48
Алгоритм общеблочного регулятора мощности энергоблока АЭС в маневренных режимах (А.О. Толоконский, А.А. Сафаргалин).....	49
Интеграция логических контроллеров для управления вакуумной системой стенда Port Plug Test Facility проекта ИТЭР (Д.А. Сафин , Н.В. Нагорный, Е.Ю. Миронова, С.С. Портоне, Ю.Н. Румянцев)	50

Применимость генеративно-состязательных нейронных сетей для синтеза ионограмм радиозондирования ионосферы (А.Н. Сингин , А.О. Щирый)	51
Нелинейные фотонные архитектуры для оптических вычислений (И.В. Мельников, В.А. Соколов , Д.Д. Ступин)	52
Роль устойчивости вычислительной среды в обеспечении функционирования масштабных киберфизических систем (С.А. Петренко, Д.Д. Ступин)	53
Система поиска противоречий в документах по вопросам обеспечения радиационной безопасности с использованием технологий искусственного интеллекта (А.А. Болотов, Е.Н. Жирнов, А.А. Ашуркин, В.Г. Барчуков, С.В. Талдытов , А.С. Галузин)	54
Разработка программного модуля построения трёхмерных карт и локализации мобильной платформы на основе интеграции данных с лазерного дальномера, инерциального измерительного блока и камеры глубины (М.С. Тимофеев , Д.Д. Подколзин)	55
Программно-аппаратный комплекс тепловизионной дефектометрии бетона в несъёмной стальной опалубке (С.А. Тихомиров , П.Д. Арленинов)	56
Разработка и исследование системы навигации автономного мобильного робота с использованием 4D-радара от компании INTEGRANT (Д.Р. Торгов , М.Р. Макуха)	57
Автоматизированное определение временной задержки сигналов излучения при распространении потока плазмы (А.А. Мамонов, К.М. Гуторов, В.С. Чернышев , В.Л. Подковыров)	58
Акустическая диагностика стрелкового оружия и анализ внутренней баллистики: комплексный подход на основе машинного обучения (Л.И. Шеманаева)	59
Имитационное тестирование алгоритмов управления с использованием нейросетевых технологий (Д.Э. Шенцов)	60

Секция

«Киберфизическое, электрофизическое и ядерное приборостроение»61

- Статистический анализ переходных течений в круглой трубе
для применения в киберфизических установках
(**В.А. Березин**, Я.И. Листратов)..... 62
- Современные методы проектирования электронных
прямопоказывающих дозиметров смешанных излучений на основе
полупроводниковых детекторов
(**М.А. Васечкин**, В.Г. Голубев, В.А. Кишев, А.С. Рейман)..... 63
- Исследование электростатической антидинаatronной системы
вакуумной нейтронной трубки
(**Д.Д. Винокуров**, С.Н. Шмелев, Р.И. Бутов, А.К. Дулатов)..... 64
- Обработка и разделение сигналов по форме импульса
в фосвич-детекторах на базе кремниевых фотоумножителей
(**В.Г. Голубев**, С.Б. Журба, В.А. Кишев, Н.В. Томилин) 65
- О калибровке по эффективности регистрации гамма-излучения
радионуклидов в контролируемых средах спектрометрических
устройств из состава спектрометров СЕГ-01Р и СГГ-02Р
(М.Д. Дерябина, **Е.Н. Демиденко**)..... 66
- О проведении расширенных исследований физических свойств
сцинтилляционного кристалла йодида стронция в рамках разработки
технологических спектрометров СЕГ-01Р и СГГ-02Р
(**М.Д. Дерябина**, Е.Н. Демиденко) 67
- Исследование зависимости тока в ускоряющем промежутке вакуумной
нейтронной трубки от характеристик разрядного тока в источнике ионов
(**Н.А. Драченков**, В.М. Ермаков, Р.И. Бутов, А.К. Дулатов)..... 68
- Экспериментальная отработка устройства снижения ударного
воздействия на объект при торможении в ловителе на ударном стенде
(**В.Б. Еремин**, Ю.А. Пятаков) 69
- Определение n/γ -соотношения для источника нейтронов
в двухканальной системе измерения
(**С.Б. Журба**, В.А. Кишев, И.В. Мосягина, А.С. Гордеев)..... 70
- Исследование работы трубки инерциального
электростатического удержания плазмы
(**Е.Д. Зяблицева**, И.А. Прокуратов, И.В. Ильичев, А.Г. Садилкин,
Б.Д. Лемешко, Ю.В. Михайлов)..... 71
- Измерение импульсного нейтронного излучения
низкой интенсивности с помощью активационной методики
(**Р.Ф. Ибрагимов**, А.П. Денисенко, Е.В. Рябева, М.Ю. Мишин)..... 72

Нейтрон-нейтронные методы дистанционного контроля с использованием меченых нейтронов (М.Д. Каретников).....	73
Варианты применения клина и призмы Рисли в схемах лазерной коммутации вакуумных разрядников (А.Ф. Коваленко).....	74
Модель генератора ИНГ-27 для анализа влияния геометрических факторов на профиль меченых нейтронов (А.С. Колесников , В.С. Федулов, С.В. Колесников, И.С. Левцов).....	75
К вопросу увеличения эмиссионной способности источника ионов Пеннинга (А.Е. Колобов , С.В. Сыромуков).....	76
Мультиферроидные композиты для киберфизических систем: особенности процессов активации диэлектрической и магнитной подсистем (Д.В. Кузенко)	77
Работа по созданию конкурентоспособных отечественных решений для автоматизированного комплекса индивидуальной дозиметрии (А.Р. Кузнецов , И.В. Мосягина).....	78
Повышение качества разработки электронных функциональных узлов и конструкторской документации (А.К. Ситалиев, Д.Д. Ларионов)	79
Автоматизированный измерительный комплекс для диагностики углового распределения потока меченых нейтронов генератора ИНГ-27 (И.С. Левцов , С.В. Колесников, Е.Э. Лупарь, М.Ю. Мишин, Н.В. Бойко, А.С. Колесников, В.С. Федулов).....	80
Следующее поколение ядерно-физических приборов для исследования различных объектов Солнечной системы (М.Л. Литвак , В.И. Зверев, И.Г. Митрофанов, Д.И. Юрков).....	81
Исследование процессов формирования ионных потоков в газонаполненной нейтронной трубке (И.М. Мамедов , Н.Р. Лаур, С.П. Масленников).....	82
Управление подачей газа при работе импульсного клапана в импульсно-периодическом режиме (А.А. Мамонов , К.М. Гуторов, В.С. Чернышев, В.Л. Подковыров)	83
Результаты ядерно-физического эксперимента Динамическое Альbedo Нейтронов на борту марсохода НАСА «Кьюриосити» (И.Г. Митрофанов , Д.И. Лисов, М.Л. Литвак, Д.И. Юрков).....	84
Влияние взаимного положения проб при их облучении источником рентгеновского излучения (М.Ю. Мишин , Р.Ф. Ибрагимов, А.В. Лазукин).....	85

Обзор объектовых автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО), технические требования и особенности построения современной АСКРО и направления развития (Р.А. Насибуллин , А.С. Гордеев, И.И. Черкашин, С.Б. Чебышов).....	86
Итоги проекта по разработке программно-технических средств АСКРО в защищённом отказоустойчивом исполнении АО «СНИИП» (Р.А. Насибуллин , М.В. Орлов, К.Ю. Кротов, Д.А. Бексалиев, А.С. Гордеев, И.И. Черкашин, С.Б. Чебышов).....	87
Использование моделей глубокого обучения для детектирования импульсов тока в поверхностном барьерном разряде (Д.Ю. Низамов , А.В. Лазукин, С.А. Зайцев).....	88
Новая металлокерамическая трубка ГНТЗ-30 для аппаратуры импульсного нейтронного каротажа малого диаметра (Н.С. Носиков , С.В. Сыромуков)	89
Особенности разработки и выполнения программно-аппаратных алгоритмов работы серии постов радиационного контроля АСКРО с учётом эксплуатации их в разных зонах контроля вокруг АЭС (М.В. Орлов , Р.А. Насибуллин, А.С. Гордеев).....	90
Разработка методики и опробование режима активировки газогенератора газонаполненных нейтронных трубок для блока питания и управления импульсным нейтронным генератором (Д.А. Охманович).....	91
Определение зольности угля методом меченых нейтронов (В.Ю. Алексахин, Е.А. Разинков , Ю.Н. Рогов, М.Г. Сапожников).....	92
Полупроводниковые детекторы: от исследования до внедрения (А.В. Редкоус , А.С. Гордеев, А.А. Иванов, М.К. Савельев).....	93
Конвейерный анализатор аглошихты на основе метода меченых нейтронов (В.Ю. Алексахин, Е.А. Андреев, И.К. Комаров, Е.А. Разинков, Ю.Н. Рогов , М.Г. Сапожников)	94
Применение метода меченых нейтронов для диагностики остеопороза in vivo (М.Г. Сапожников)	95
Разработка пьезокерамических элементов с повышенной пьезочувствительностью для виброакустического мониторинга (Н.А. Спиридонов , Д.В. Кузенко, Л.А. Чабан, С.С. Омелянович).....	96
Алгоритм декомпозиции аппаратурных альфа-спектров для повышения точности радиометрии аэрозолей (А.Р. Сучков , В.А. Кишев, С.Б. Журба).....	97
Исследование импульсной динамики ионов, экстрагируемых из ионного источника газонаполненной нейтронной трубки (Ю.Г. Трифонова , И.А. Каньшин, С.П. Масленников).....	98

Сцинтилляционный гамма-спектрометр и радиометр тепловых нейтронов на основе Cs ₂ LiYCl ₆ :Ce (CLYC) (И.В. Урупа , О.К. Бобожонов, А.П. Денисенко)	99
Сравнение пассивных и активных методов элементного анализа на примере определения содержания лантана (О.В. Чакилев , С.В. Колесников, А.С. Колесников)	100
Математическое моделирование УФ-источников излучения на основе импульсно-периодического разряда в инертных газах (В.М. Градов, С.В. Гавриш, П.А. Чиликина).....	101
Исследование ионного тока в ускоряющем промежутке вакуумной нейтронной трубки во внешнем магнитном поле (С.Н. Шмелев , Р.И. Бутов, С.П. Масленников, А.К. Дулатов)	102
Накопительные первичные преобразователи на основе р-і-п- и МОП-структур для детектирования ионизирующих излучений (В.С. Яшин , В.В. Федоренко)	103



Секция
« Информационно-измерительные
и управляющие системы »

Председатель секции –

Кишкин Владимир Львович,

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



Сравнительный анализ методов детекции объектов при развёртывании на периферийных нейропроцессорах для задач автоматизации визуального контроля

М.А. Аванесов, М.В. Алюшин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Исследована эффективность развёртывания моделей детекции объектов семейства YOLO на периферийном устройстве с NPU RK3588. Проведён сравнительный анализ форматов PyTorch, ONNX и RKNN по критериям производительности, точности и ресурсоэффективности. Разработаны специализированные программные классы для обработки выходных данных RKNN-моделей. Показано, что применение NPU позволяет достичь ускорения инференса до 10 раз при минимальной загрузке CPU.

Развитие периферийных вычислений (edge computing) и встроенного искусственного интеллекта определяет актуальность оптимизации нейросетевых моделей для развёртывания на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами [1]. Современные одноплатные компьютеры на базе ARM-архитектуры со встроенными нейропроцессорами обеспечивают возможность локальной обработки данных в реальном времени [2].

Целью работы является исследование влияния формата представления нейросетевой модели на эффективность её выполнения. Платформа: Orange Pi 5 Max с процессором Rockchip RK3588. Исследованы модели YOLO11 и YOLO11-OBV в форматах PyTorch, ONNX и RKNN [3].

Эксперименты проводились на наборе изображений из открытых источников. Результаты показали преимущество формата

RKNN: для YOLO11 – 21,3 FPS (47 мс, CPU 11 %), тогда как PyTorch обеспечил 4,6 FPS (217 мс, CPU 58%), а ONNX – 9,2 FPS (109 мс, CPU 97 %). Для YOLO11-OBV эффект ещё значительнее: ускорение в 10 раз (7,1 FPS против 0,7 FPS для PyTorch, 1,4 FPS для ONNX), загрузка CPU снизилась с 41 % до 10%.

Формат ONNX показал умеренную производительность, уступая RKNN из-за отсутствия аппаратного ускорения на NPU. Разработанные классы для rknnlite.api обеспечивают время инициализации 0,3 с против 2,8 с для Ultralytics.

Результаты демонстрируют, что использование специализированных программных решений для NPU критически важно для достижения real-time производительности. Методика применима для оптимизации систем компьютерного зрения в задачах производственного контроля и медицинской диагностики.

Список литературы:

1. Mittal P. A comprehensive survey of deep learning-based lightweight object detection models for edge devices // Artif. Intell. Rev., 2024. – Vol. 57. – Art. 242.
2. Liang S., Wu H. Edge YOLO: Real-Time Intelligent Object Detection System Based on Edge-Cloud Cooperation in Autonomous Vehicles // arXiv:2205.14942. 2022.
3. Jocher G. et al. Ultralytics YOLO11 // GitHub. 2024. URL: github.com/ultralytics/ultralytics.

Нейросетевое восстановление спектра нейтронов с физически информированной функцией потерь

М.А. Акимочкина¹, Д.С. Борщев¹, К.А. Чижов^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Университет «Дубна» – Дубна, Россия;

² Объединённый институт ядерных исследований – Дубна, Россия

Разработан алгоритм восстановления спектра нейтронов по результатам измерений многошаровым спектрометром Боннера [1] с помощью физически информированной нейронной сети. В работе выбрана архитектура сети на основе многослойного перцептрона. В функцию потерь включены компоненты, отвечающие за точность восстановления спектра, физическую согласованность, сохранение корреляционной структуры и регуляризацию гладкости, а также минимизацию ошибки при расчёте эффективной дозы. Для обучения и валидации сгенерирован набор спектров из $5 \cdot 10^5$ спектров, представленный как взвешенная комбинация тепловой, надтепловой, быстрой и высокоэнергетической компонент [2].

Архитектура сети состояла из 10 входящих признаков (измерений), 4 внутренних слоёв, на выходе – 60 значений (дискретизированный по шкале энергии от 10^{-9} до 660 МэВ спектр). Применение физически информированной функции потерь позволило сократить среднюю ошибку оценки дозы для тестовой выборки с 12 % до 7 %, при сохранении физической правдоподоб-

ности спектра. Приведено сравнение результатов нейросети с реализованным нами методом восстановления спектра, основанном на максимизации энтропии. Показано, что нейросетевой алгоритм даёт меньшую ошибку. Метод применим для оценки доз от нейтронов в стационарных высокоэнергетических полях вблизи ускорителей и ядерно-физических установок.

Список литературы:

1. K. Chizhov, L. Beskrovnaya, A. Chizhov, Neutron Spectra Unfolding from Bonner Spectrometer Readings by the Regularization Method Using the Legendre Polynomials // Physics of Particles and Nuclei. – 2024. – № 55(3). – С. 532–534. <https://doi.org/10.1134/S1063779624030298>.
2. А.А. Белый, М.Д. Стариковская, К.А. Чижов. Разработка веб-приложения для эксперимента по восстановлению спектра нейтронов с применением алгоритмов нейронных сетей // Системный анализ в науке и образовании. – 2025. – № 2. – С. 49–57.



Расширение сервисных возможностей по работе с оборудованием ТПТС-ЕМ

А.А. Архангельский^{1,2}

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

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

В докладе рассматриваются результаты доработки функционала сервисной программы TPTS-Debugger в части выполнения процедуры обновления встроенного программного обеспечения базовых интерфейсных модулей ТПТС-ЕМ по интерфейсу ТТУ, а также чтения историй у группы абонентов шины EN/EN-2.

До недавнего времени для проведения обновления встроенного программного обеспечения (ВПО) базовых интерфейсных модулей (МБИ) ЦМ-Е и ЦМ-СБ ТПТС-ЕМ необходимо было использовать устаревший ПК со специализированным интерфейсным модулем, операционной системой MS-DOS и установленной программой STRUK.

В дальнейшем в рамках работ данный функционал был реализован в сервисной программе TPTS-Debugger, что позволило выполнять обновление ВПО в современной операционной системе на современном ПК с использованием обычной сетевой карты по шине EN/EN-2.

При обновлении ВПО по шине EN/EN-2 программируется резервный модуль путём обращения к нему через основной модуль. Обращаться к основному модулю напрямую для выполнения загрузки нельзя, так как в этом случае при переходе в режим загрузки нарушается связь между базовым

и дополнительным модулями. Вследствие этого при отсутствии резервного модуля выполнить процедуру обновления ВПО не представляется возможным.

В соответствии с функционалом программы STRUK любой коммуникационный модуль ТПТС-ЕМ может быть запрограммирован по шине ТТУ, которая, в отличие от шины EN/EN-2, подключается к базовому модулю напрямую.

В докладе представлены методы реализации данного функционала в программе TPTS-Debugger с использованием COM-Port и адаптера с разъёмом DB9. Соответствующая доработка позволила существенно упростить и расширить возможности по обслуживанию и эксплуатации модулей ТПТС-ЕМ. Представлена реализация группового чтения историй модулей ТПТС-ЕМ, имеющая цель снизить временные затраты при диагностике состояния аппаратуры ТПТС-ЕМ.

Пороговый энергетический детектор на ПЛИС семейства Altera Cyclone V SoC

А.А. Шабынин, **А.А. Архангельский**

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ – Москва, Россия

В докладе описывается реализация многоканального порогового энергетического детектора в системах сбора и обработки данных акустического диапазона.

Перспективные системы диагностирования технологического состояния реакторов ВВЭР предполагают обработку в реальном времени больших массивов диагностических данных, поступающих, например, с пространственно-распределенных виброакустических пьезоакселерометров. Проекты энергоблоков допускают до 256 однородных входных каналов. Первичная фильтрация событий в реальном времени использует пороговый энергетический детектор, сравнивающий отношения среднеквадратических значений (СКЗ) кратковременного и длительного временных окон [1]. Частота оцифровки, равная 256 тыс. отсчетов в секунду, и разрядность АЦП накладывают повышенные требования к вычислительным ресурсам.

Необходимость вычисления значений СКЗ с каждым новым отсчетом, ограничения объема ОЗУ и вычислительной мощности, использование современных пьезоакселерометров делают актуальной задачу повышения частоты оцифровки снимаемых сигналов, что приводит к увеличению требований к мощности вычислителя и объемам ОЗУ, которые не могут быть реализованы существующими системами.

Проблема ограничения производительности и доступной памяти ОЗУ по каждому каналу решается с помощью современных System-on-Chip (SoC) из семейства Altera Cyclone V (производство Intel), которые позволяют получить доступ к 1 Гб ОЗУ DDR3 совместно из логики ПЛИС и встроенного процессорного ядра Cortex A9. Благодаря этому решению становится возможным принципиально изменить расчетную схему энергетического детектора, полноценно реализовав скользящее окно, где новое значение отношения энергий вычисляется инкрементально для каждого нового отсчета.

Требуемые рабочие характеристики порогового энергетического детектора достигнуты на ПЛИС с повышенным объемом доступного ОЗУ при совместном хранении однотипных данных по всем каналам с групповым доступом и последовательной обработкой каналов на каждой стадии вычислений. Предложенная архитектура позволяет использовать вычислительные ресурсы для параллельного выполнения сопутствующих задач, в том числе – для реализации перспективных методов детектирования.

Список литературы:

1. Максимов И.В., Павелко В.И., Перевезенцев В.В., Трыков Е.Л. Метод выделения полезного сигнала для системы обнаружения свободных, слабозакрепленных и посторонних предметов в главном циркуляционном контуре реакторной установки с водо-водяным энергетическим реактором // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2018. – № 1. – С. 4–15. DOI: 10.18698/0236-3933-2018-1-4-15.



Алгоритмы и методы коррекции деградаций в изображениях

Г.В. Архипов^{1,2}, Н.А. Куликов²

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

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

В ходе выполнения работы проведён анализ методов улучшения качества видеоизображения в условиях плохой освещённости, задымления и возникающих бликов. Проведён сравнительный анализ нейросетевых моделей для задачи высветления изображений по синтетическим данным разработанного генератора.

Повышение качества изображений снижает частоту ошибок в алгоритмах обработки сенсорных данных, которые формируют оценки и параметры для контура управления роботом; в результате повышается надёжность подсистем сервисных промышленных роботов, применяемых при ликвидации последствий техногенных аварий. В таких условиях на изображение воздействуют задымление, низкая и неравномерная освещённость, блики и отражения на объектах и на объективе, загрязнение оптики, вибрации и движение платформы. По каждому из указанных факторов был выполнен аналитический обзор методов коррекции; по его результатам для каждой подзадачи выбраны к применению нейросетевые модели.

Однако при использовании нейросетевых моделей ключевой проблемой остаётся подготовка обучающих данных, зависящих от условий эксплуатации: ручное формирование выборки ресурсоёмко, требует большого числа изображений с заданными характеристиками, а для каждой подзадачи необходим собственный набор. В настоящей работе проведён сравнительный

анализ алгоритмов высветления изображений. Для снижения трудозатрат разработано программное обеспечение, заменяющее натурную съёмку синтетическим формированием данных: обучающие изображения фотореалистично синтезируются на основе трёхмерных моделей сцены и целевых объектов. Для обучения модели улучшения освещённости формируются парные примеры с «хорошим» и «плохим» освещением при контролируемых параметрах источников света и условий съёмки, что обеспечивает воспроизводимость и покрытие типовых режимов работы.

Сравнительный анализ алгоритмов высветления выполнен в формате полунатурного эксперимента: оценочная выборка сформирована из пар изображений, полученных с камеры, установленной в макете системы технического зрения сервисного мобильного робота. Модели сопоставлялись как по стандартным метрикам качества восстановления, так и по метрикам интегрированной модели сегментации, что позволило оценить влияние на итоговые алгоритмы системы.

Применение протоколов управления доступом к среде для управления беспроводными информационными подводными сетями

И.С. Барашков, А.В. Исаев

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

Актуальность разработки гидроакустических протоколов управления доступом к среде обусловлена возросшими требованиями к объёму и скорости передачи информации при выполнении подводных работ различной сложности. Решение задач обеспечения надёжной подводной связи в условиях нестабильности гидроакустического канала требует особых подходов к передаче и приёму данных.

Было выполнено исследование современных технологий организации беспроводных сетей с гидроакустическим каналом с целью выявления перспективных решений и направлений, применимых для повышения эффективности морских роботизированных комплексов.

Задачи исследования:

1. Анализ открытых источников и статей по теме протоколов управления доступом к среде по гидроакустическому каналу;
2. Провести классификацию протоколов управления доступом к среде по алгоритму взаимодействия с абонентами;
3. Определить наиболее подходящие области применения и типы сетей для рассматриваемых протоколов управления доступом к среде по гидроакустическому каналу;

4. Определить перспективные направления исследования в области разработки адаптивных систем на базе сетевых технологий.

В работе представлены результаты проведённого литературного обзора гидроакустических протоколов управления доступом к среде для решения задач организации беспроводной передачи данных. Приведена классификация протоколов управления доступом к среде по алгоритму взаимодействия с абонентами. Определены типы систем для существующих современных протоколов управления доступом к среде. Определены перспективные направления исследования в области разработки систем на базе сетевых технологий.

Список литературы:

1. Underwater Acoustic Communication Market Size and Share Forecast Outlook (2025 to 2035) / Future Market Insights [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/underwater-acoustic-communication-market> (дата обращения: 21.10.2025).
2. Shahabudeen, S. A multichannel MAC protocol for AUV networks / S. Shahabudeen, M. Chitre, M. Motani // OCEANS'2007 – Europe, Aberdeen, Scotland, 18–21 June 2007. – 2007. – P. 60867–60876.
3. Casari, P. A comparison between the Tone-Lohi and Slotted FAMA MAC protocols for underwater networks / P. Casari, B. Tomasi, M. Zorzi // OCEANS'2008, Quebec City, Qc, Canada, 15–18 September 2008. – P. 1–8.



Бесконтактный способ определения состояния человека с помощью нейросетевых технологий на основе анализа микровибраций головы человека

А.А. Болотов, В.Г. Барчуков, А.С. Галузин, Е.Н. Жирнов, А.А. Ашуркин,
В.П. Крючков, И.К. Теснов, К.А. Чижов

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

Система классификации состояния человека с использованием составной (свёрточной и рекуррентной) нейросети на основе данных после амплитудно-частотного анализа микровибраций видеоизображения его головы.

Процессы терморегуляции и механического баланса человека управляются центральной и периферической нервной системами, сердечно-сосудистой, вестибулярной и системой терморегуляции, которые проявляются в микровибрациях (МВ) головы человека и формируют комплексный показатель его состояния в покое.

Для количественной оценки МВ головы человека использовалась технология анализа видеоизображения на основе оптического контраста между точками лица человека соседних кадров изображения головы человека, снимаемого веб-камерой. Она позволяет вычислить оценки амплитудной и частотной составляющих микровибраций точек лица человека. Были выбраны три функционально независимые группы параметров: средняя амплитуда, максимальная и средняя частота, а также симметрия этих параметров относительно средней линии лица. При этом наибольшую значимость в классификации состояния человека оказывают максимальная и средняя частота, а также симметрия их изображений.

Для создания системы классификации состояния человека нами предложен подход,

основанный на использовании трехканального результирующего RGB изображения (диаграммы) в виде вертикальной развёртки показателей в рамках границ лица человека. Эти изображения подаются на вход сверточной нейросети для автоматического выявления признаков и передачи их рекуррентной нейросети классификации. Для обучения использовались диаграммы, полученные из пачки коротких видеофрагментов длительностью в 2 с, которые выделялись из видеозаписи головы человека общей длительностью 30 с и частотой 30 кадров в секунду при разрешении 640×480 точек. Для выделения контура лица человека использовался классификатор Хаара с использованием библиотеки OpenCV.

В процессе обучения модели анализируется её предварительная точность (частота правильной оценки классификации) на обучающей и тестирующей выборке, которая составила около 99%. Быстрота, бесконтактный и дистанционный способ классификации позволяет использовать такой подход в различных системах обеспечения безопасности, медицинской диагностики, прогноза, профотбора и т.п.

Развитие информационно-статистического подхода при анализе индивидуальных поглощённых доз внешнего облучения персонала радиационно опасных объектов за 10 лет (2011–2020 гг.)

Ю.Н. Брагин, А.Г. Цовьянов, В.П. Крючков, А.Г. Сивенков, В.Е. Журавлева
ФГБУ «ГНЦ РФ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России – Москва, Россия

Проведена классификация распределений логарифмов индивидуальных доз работников радиационно опасных объектов на основе контрэксцесса и энтропийного коэффициента за 10 лет (2011–2020 гг.) в целях оценки эффективности деятельности служб радиационной безопасности предприятий, имеющих радиационно опасные объекты.

В работе проводится классификация распределений логарифмов индивидуальных доз работников атомных электростанций (АЭС) на основе статистических и информационных характеристик распределений, а именно: контрэксцесса (Q) и энтропийного коэффициента (K), и представления их в виде двумерной QK -диаграммы для оценки эффективности деятельности служб радиационной безопасности (СРБ) атомных электростанций.

Для персонала некоторых АЭС, эксплуатирующих разные типы энергетических реакторов, на основании данных Федерального банка данных ФМБА России проведён сравнительный анализ существующих распределений годовых индивидуальных доз внешнего облучения работников при нормальном функционировании АЭС за период 2011–2020 гг. как для всех работников АЭС, так и для работников отдельных профессий, получавших максимальные годовые коллективные дозы ионизирующего излучения.

Получены изображающие точки (ИТ) распределений индивидуальной дозы (ИД) на QK -диаграмме для всего персонала отдельных радиационно опасных объектов, эксплуатирующих реакторы различного типа, и для выборок по наиболее радиационно опасным профессиям персонала.

Положение изображающей точки, представляющей ИД некоторой профессиональной группы работников на QK -диаграмме, отражает степень контроля процесса накопления доз этой группой со стороны СРБ. ИТ логнормального распределения на QK -диаграмме с координатами ($Q=0,577$; $K=2,066$) соответствует ситуации отсутствия контроля за накоплением дозы. Расстояние от ИТ анализируемого распределения логарифма ИД до точки ($0,577$; $2,066$) на QK -диаграмме пропорционально степени контроля процесса накопления дозы со стороны СРБ. Исходя из этого, QK -диаграммы могут быть использованы для управления процессом накопления ИД персоналом АЭС.



Методы автоматизации перевода методик проверки монтажа в программы проверки

Е.С. Воробьева

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

В докладе представлен анализ методов и подходов к разработкам конвертеров текстовых документов, рассматриваются особенности их работы и технической реализации.

Неотъемлемой частью подтверждения качества продукции в процессе изготовления является её контроль. В зависимости от проверяемого объекта применяются различные методы контроля. Для подтверждения качества монтажа электронной аппаратуры одним из возможных способов реализации такого контроля является автоматизированный контроль, который осуществляется автоматизированными измерительными системами. Их применение наиболее эффективно при исследовании объектов контроля, содержащих большое количество элементов.

Для подтверждения соответствия монтажа объекта контроля и его составных частей электрической принципиальной схеме составляются методики проверки электромонтажа, на основании которых разрабатываются программы контроля монтажа. В процессе перехода от старого оборудования к новому возникает потребность в дублировании ранее написанных программ проверки объектов контроля. Тогда содержание методик проверки монтажа вносится в программы новых стендов контроля вручную, что является трудоёмким процессом, влекущим ошибки, или посредством их копирования из текстовых

файлов, которое требует дополнительную обработку и редактирование в соответствии с синтаксисом нового оборудования. Процесс разработки программ контроля однотипный и требует значительных временных затрат. Чтобы устранить вышеперечисленные недостатки, предлагается автоматизировать перевод методик проверки электромонтажа систем 560R15S фирмы «Link TestElectronics» в программы отечественной системы ТЕСТ-9110 холдинга «Информтест» посредством разработки конвертера – программного средства, преобразующего содержание программ 560R15S в файлы АФК-9110 – среду разработки систем ТЕСТ-9110. Для разработки конвертера требуется определить оптимальный способ переноса данных, учитывающий особенности методик проверки и среды АФК-9110.

В работе проведён анализ подходов к разработкам конвертеров текстовых документов с расширениями .doc и .txt., предложена техническая реализация различных конвертеров и оценена возможность их применения для разработки конвертера методик проверки электромонтажа в программы АФК-9110.



Анализ и принцип выбора методов согласования усилителей мощности с гидроакустическими преобразователями

В.В. Гладков, В.Е. Аввакумов

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

Эффективная работа гидроакустической системы в значительной степени определяется качеством передачи энергии от усилителя мощности к гидроакустическому преобразователю. Энергетическая эффективность тракта напрямую определяет такие важнейшие параметры, как дальность действия, помехозащищённость и надёжность всей системы. В условиях роста требований к пропускной способности каналов и помеховой обстановке задача обеспечения максимальной передачи энергии от усилителя к излучателю становится одной из первостепенных.

Проблема заключается в фундаментальном электрическом рассогласовании между выходным каскадом усилителя мощности, который, как правило, оптимизирован для работы на активную нагрузку, и комплексным импедансом гидроакустического преобразователя. Электрический импеданс гидроакустического преобразователя имеет резко выраженный реактивный (ёмкостный) характер и сильно зависит от частоты и внешних условий.

Несогласованная работа приводит к значительным потерям мощности, искажению формы сигнала, перегреву усилителя, нестабильности работы и снижению надёжности всей системы. Таким образом, задача

разработки эффективных и широкополосных методов согласования является критически важной для создания современных ГАС.

Проведение комплексного анализа методов согласования является необходимым и обязательным этапом проектирования эффективного передающего тракта гидроакустической системы. Этот анализ направлен на выбор оптимального решения, позволяющего преодолеть фундаментальное противоречие между усилителем мощности, рассчитанным на активную нагрузку, и комплексным импедансом гидроакустического преобразователя.

Список литературы:

1. Фано Р.М. Теоретические ограничения полосы согласования произвольных импедансов // Пер. с англ. Ю.Л. Хотунцева / Под ред. Г.И. Слободенюка. – М.: Советское радио, 1965. – 69 с.
2. Вай Кайчень. Теория и проектирование широкополосных согласующих цепей // Пер. с англ. / Под ред. Ю.Л. Хотунцева. – М.: Связь, 1979. – 288 с.



Проблемы тепловыделения и теплоотведения стоек ТПТС

Д.С. Дробышев, А.С. Пнёв, П.Н. Гонодобов

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

В ходе работы рассмотрены различные конструктивные решения для улучшения отвода тепла в стойках ТПТС.

Входящие в состав стоек ТПТС электротехнические компоненты в процессе работы выделяют тепло, вызывающее их нагрев. В некоторых случаях нагрев может достигать критических величин, близких к предельным рабочим температурам компонентов. Длительная эксплуатация при температурах, близких к предельно допустимым, провоцирует ускоренную деградацию материалов, снижение электротехнических характеристик и, как следствие, существенное падение общей надёжности и ресурса оборудования. Поэтому эффективный теплоотвод и скорейшее удаление выделившегося тепла из стоек являются важными аспектами при конструировании.

Для получения представления о характере движения тепловых потоков в стойке, выявления зон потенциального перегрева подготовлена её расчётная трёхмерная модель. Большое внимание при построении модели уделялось минимизации учёта незначущих для расчёта подробностей модели, за счёт чего удалось значительно сократить время, затрачиваемое на расчёты. В качестве источников тепловой мощности при моделировании используются пласти-

ны, имитирующие печатные платы модулей. Мощность, выделяемая такими пластинами, принята неизменной во времени.

Используя расчётную трёхмерную модель, проводилось численное моделирование, анализ и сравнение стационарных тепловых режимов работы типовой приборной стойки ТПТС в исходном состоянии (по текущей конструкторской документации) и в скорректированных состояниях, потенциально снижающих влияние выявленных особенностей конструкции, вызывающих избыточные температуры в отдельных зонах стойки. Такими выявленными в процессе работы особенностями стоек являются: последовательный нагрев нижестоящими компонентами рамы вышестоящих компонентов, ограниченный выход нагретого воздуха в районе крыши стойки, а также ограниченное поступление воздуха в крейты с кросс-платам во всю высоту.

По результатам работы определён наиболее эффективный путь по улучшению отведения тепла в текущих приборных стойках ТПТС. А также сформулированы общие рекомендации к конструкции будущих стоек в контексте отвода тепла.



Адаптивная система коррекции ошибок памяти для радиационно стойких RISC-V процессоров космического применения

Р.С. Дыбов

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

Разработана архитектура адаптивной системы коррекции ошибок памяти для RISC-V процессоров, обеспечивающая динамическое перераспределение ресурсов защиты в зависимости от радиационной обстановки и критичности выполняемых задач.

Предложенная система реализует дифференцированный подход к защите иерархии памяти процессора. Для каждого уровня памяти разработаны специализированные схемы коррекции ошибок, учитывающие особенности хранения и обработки данных. Архитектура системы предусматривает возможность независимого управления защитой различных подсистем памяти.

Ключевым элементом является адаптивный модуль контроля, осуществляющий непрерывный контроль накопленной дозы по информации от соответствующих датчиков и статистический учёт возникающих оши-

бок. На основе анализа текущих условий система динамически переключается между режимами коррекции, от базового обнаружения одиночных сбоев до комплексной защиты от множественных ошибок. Особое внимание уделено обеспечению целостности данных в конвейерных регистрах и критических системных структурах.

Предложенная система защиты памяти может быть интегрирована в перспективные разработки отечественной космической электроники для обеспечения надёжности работы процессорных систем в условиях длительных космических экспедиций.

Список литературы:

1. Ivan Aleksī, Tomislav Matic et al. // Dynamic Voltage and Frequency Scaling as a Method for Reducing Energy Consumption in Ultra-Low-Power Embedded Systems. – 2024. – Electronics № 13. – P. 1–18.
2. Paul Leys // Radiation-hardened processors for space. Avnet Silica. – 2022.
3. Dorflinger A. et al. // ECC Memory for Fault Tolerant RISC-V Processors. Architecture of Computing Systems. – 2020.



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

С.В. Епифанов¹, А.О. Толоконский²

¹ АО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала» – Москва, Россия;

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

Для проверки практической реализуемости ранее разработанного автоматического регулятора РУ со свинцовым теплоносителем для вывода из подкритического состояния были проведены испытания алгоритма на стенде с моделями РУ и основных алгоритмов систем. Результаты подтвердили выводы, полученные при автономном анализе алгоритма управления.

В рамках развития проекта реакторной установки со свинцовым теплоносителем поколения IV продолжается проведение научных исследований, связанных с увеличением степени автоматизации всех процессов управления. Основные работы по автоматизации ведутся в направлении отработки схем управления, связанных с уточнением алгоритмов работы с технологическим оборудованием.

Параллельно ведутся работы по формированию новых автоматизированных и автоматических алгоритмов управления, расширяющих возможности АСУ ТП. Был выполнен анализ текущих алгоритмов автоматического управления [1] и разработан

новый алгоритм управления [2], объединивший имеющиеся функции нормальной эксплуатации на этапе вывода РУ из подкритического состояния. Разработанный алгоритм был протестирован сначала в автономном режиме, а потом – в схеме управления моделью РУ, моделями технологического оборудования в реальном времени.

Результаты моделирования на стенде подтвердили практическую возможность управления РУ и технологическим оборудованием в автоматическом режиме при выводе РУ из подкритического состояния, полученную ранее на этапе автономного моделирования разработанной схемы управления.

Список литературы:

1. Епифанов С.В. Особенности автоматического регулятора мощности РУ со свинцовым теплоносителем / С.В. Епифанов, Г.В. Колибас, А.О. Толоконский // Физико-технические интеллектуальные системы (ФТИС-2023): Сборник тезисов II Научно-практической конференции, Москва, 07–09 февраля 2023 года. – Тамбов: ООО «Издательство Юлис», 2023. – С. 23. – EDN JXUITC.
2. Епифанов С.В. Структура автоматического регулятора реакторной установки со свинцовым теплоносителем для вывода из подкритического состояния / С.В. Епифанов, А.О. Толоконский // Физико-технические интеллектуальные системы (ФТИС-2025): Сборник тезисов IV Научно-практической конференции, Москва, 11–13 февраля 2025 года. – Тамбов: ООО «Издательство Юлис», 2025. – С. 25. – EDN OGYKTW.

Адаптивные многоканальные системы гидроакустической связи: варианты, проблемы и пути решения

Д.А. Зиновьев, А.В. Исаев

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

В работе рассматриваются адаптивные многоканальные системы (MIMO) как ключевая технология для преодоления фундаментальных ограничений гидроакустического канала связи.

1. Актуальность и постановка задачи

Фундаментальные ограничения гидроакустического канала связи (узкая полоса, многолучевость, эффект Доплера) снижают эффективность одноканальных систем (SISO). С учётом обозначенных ограничений, условий применения приемопередающей аппаратуры, а также набора и свойств входящих в систему радиоустройств многоканальная система с адаптивным формированием гидроакустических сигналов является актуальной.

2. Ключевые методы

Пространственное разнесение: повышение надёжности и помехоустойчивости путём борьбы с замираниями. Пространственное мультиплексирование: увеличение пропускной способности за счёт одновременной передачи независимых потоков данных в одном частотном канале. Адаптивное диаграммообразование: повышение энергоэффективности и скрытности путём формирования узконаправленного акустического луча и подавления помех. Синтез

MIMO-OFDM: решение, в котором OFDM борется с межсимвольной интерференцией, а MIMO применяется к каждой из узкополосных поднесущих.

3. Основные проблемы и пути их решения

Чувствительность OFDM к эффекту Доплера: решается доплероустойчивыми формами сигналов и алгоритмами компенсации. Высокая вычислительная сложность: требует применения специализированных аппаратных ускорителей (ПЛИС) и оптимизированных алгоритмов.

В работе проанализированы основные методы построения адаптивных многоканальных систем, включая пространственное разнесение, мультиплексирование и синтез MIMO с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM), которые применяются в существующих системах. В качестве перспективного направления предложен подход интеграции MIMO-технологий с сигналами на базе орбитального углового момента (ОАМ).

Список литературы:

1. Н.С. Писаренко. Модельное исследование пространственно-временного кодирования.
2. А.В. Баранников, И.А. Левицкий, В.А. Логинов. Исследование влияния сжатия CSI на эффективность MU-MIMO в условиях временной эволюции канал.
3. Е.И. Глушанков, К.О. Коровин. Реализация алгоритма адаптивного диаграммообразования с обращением корреляционной матрицы на ПЛИС.
4. Г.Г. Галустов, С.Н. Мелешкин. Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением сигналов.



Обзор принципов действия и эффективности датчиков в микропроцессорном коленном модуле для протеза бедра

Д.А. Ионин^{1,2}, А.Н. Тажигулов², А.С. Бакшаев², А.И. Максимкин¹

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

² МПО «Металлист» – Москва, Россия

В работе представлена методика размещения и подбора датчиков, обеспечивающая достоверное прогнозирование фазы шага у лиц с ограничениями опорно-двигательного аппарата на основе биомеханики ходьбы.

Механика ходьбы человека давно определена и математически просчитана. На сегодняшний день одним из перспективных направлений являются протезы с микропроцессорным управлением, питаемые от внутреннего источника питания [1]. Конечный алгоритм движения такой модели управляется на основе данных внутренних датчиков, что является сложной инженерной и математической задачей. Для её решения необходимо оптимизировать тип датчиков и их взаимное геометрическое расположение. Критическим фактором проектирования, ввиду автономности устройства, является энергоэффективность сенсоров и алгоритмов.

Математическая модель движения нижних конечностей, описанная в [2], переносится на боковую проекцию биомеханиче-

ской системы «протез–пользователь». Это позволяет представить положение тела как совокупность моментов сил и линейных ускорений, действующих на сегменты конечности. Размещение датчиков в анатомически значимых точках голени позволяет идентифицировать фазы шага человека. Эти данные могут быть получены с помощью акселерометров и тензодатчиков и использованы для адаптивного управления коленным модулем протеза.

Одной из актуальных задач является – защита от спотыкания [3]. Интеграция вышеперечисленных механических систем позволяет создать комплексную защиту от спотыкания: датчики заблаговременно обнаруживают риск потери устойчивости, а механическая блокировка коленного модуля предотвращает подкашивание.

Список литературы:

1. Епишев В.В., Эрлих В.В., Сапожников С.Б., Бурнашов Я.В. // Материалы заседания Совета по делам инвалидов при Совете Федерации Федерального Собрания Российской Федерации. Анализ перспективных направлений в проектировании протезов коленного сустава нового поколения. Человек Спорт Медицина, – Т. 24. – № 2. – 2024. – 191 с.
2. Кузнецов А.О., Мусалимов В.М. Исследование движения нижних конечностей человека при ходьбе с использованием технологий инерциального захвата движения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 5. – 87 с.
3. Буров Г.Н., Белянин О.Л., Черникова М.В., Большаков В.А., Дробаха А.С. К вопросу формирования подкосоустойчивости в протезе бедра // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». – 2022 – № 5 – 43 с.



Структура разнесённой информационно-измерительной системы для получения телеметрической информации

И.А. Исаев, А.Ю. Глухов

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

В процессе разработки и натурных испытаний гидроакустической аппаратуры необходимо одновременное получение телеметрической информации о состоянии водного пространства для различных точек пространства. Кроме этого, актуальны задачи долговременного мониторинга для учёта изменения климата, антропогенных воздействий, сезонных колебаний и т.д. В работе предложены и описаны основные элементы программно-аппаратного комплекса для получения этих данных.

На данный момент существует проблема получения телеметрической информации, которая заключается в отсутствии данных в удалённых или труднодоступных районах, что приводит к разреженности и неполноте. Частота и регулярность сбора данных часто ненадлежащая из-за ограничений технических и финансовых ресурсов. Часто возникают ошибки при сборе и регистрации данных, которые никак нельзя регулировать, что приводит к несоответствию стандартам и методикам измерений и снижает сопоставимость данных. Телеметрические данные собираются различными системами, что ведёт к разнородности форматов и затрудняет интеграцию информации.

Для решения данных задач предлагается разработать структуру программно-аппаратного комплекса для получения телеметрической информации в заданной точке пространства и объединения этих комплексов в разнесённую информационно-измерительную систему, работающую в единой сети.

В состав предлагаемого программно-аппаратного комплекса входят: датчики физических величин, модуль памяти для долговременного хранения информации, модуль радиосвязи для работы внутри сети, глобальная навигационная спутниковая система. Программно-аппаратный комплекс должен обеспечивать автономную работу в течение длительного времени, а также производить измерения телеметрической информации в режиме реального времени.

Разработка разнесённой информационно-измерительной системы для получения телеметрической информации позволит оптимизировать разработку и программу испытаний аппаратуры за счёт автоматизации процесса мониторинга и обработки большого массива данных, а также обеспечивать работу в единой сети для одновременного сбора данных с нескольких точек пространства.



Метод LoRA: системные ограничения и перспективы применения

П.П. Карабущенко

Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» – Обнинск, Россия

Целью работы является теоретическое осмысление и практическое применение метода LoRA в локальных LLM для специализированных данных.

Стремительное развитие искусственного интеллекта (ИИ) оказывает влияние на различные стороны жизни современного общества. С одной стороны, ИИ играет роль помощника в решении человеком сложных задач: в области медицины, генной инженерии, квантовой физики, создания новых материалов и высокотехнологичных систем, роботизации и автоматизации производства и др. Но, с другой – сопряжено с рисками: незащищённости конфиденциальности личной жизни; уязвимости национальной безопасности и секретности военно-промышленной, атомной отраслей; ослабления надёжности функционирования критически важной инфраструктуры.

Одним из перспективных методов, позволяющих осуществлять адаптацию локальных ИИ, является LoRA, который в научно-технической литературе детально описан и апробирован [1, 2].

С целью выявления системных ограничений в использовании метода LoRA был

проведён двухуровневый эксперимент. На первом этапе была протестирована базовая модель TinyLlama 1.1. В работе с текстом по теме «Ядерная физика». На втором осуществлялось дообучение LLM с использованием LoRA на выборке данных по целевой теме. Также проводился сравнительный анализ данных по результатам тестирования: базовой и адаптированной моделей.

В ходе серии проведённых экспериментов были сформулированы следующие выводы: 1) дообученная модель качественно дифференцирует и обрабатывает вопросы, относящиеся теме «Ядерная физика»; 2) надёжно фиксирует информацию, ранее незаложенную в базовую LLM; 3) уменьшает риски галлюцинаций при генерации ответов.

Метод LoRA имеет широкие перспективы своего применения, повышая точность локальных моделей на данных из узкоспециализированных областей знаний.

Список литературы:

1. Hu E.J. et al. LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models. arXiv:2106.09685.
2. Zheng Y., Li X., Gu J. Computational Limits of Low-Rank Adaptation (LoRA). arXiv:2406.03136.

Эффективность фотонных вычислений в технологиях ИИ

Д.Д. Ступин, И.В. Мельников, **В.А. Козлов**

Московский физико-технический институт – Москва, Россия

Исследуется результативность применения фотонных вычислений (ФВ) в задачах ИИ. ФВ направлены на имитацию функций мозга с использованием фотонных устройств. Этот подход предлагает значительные преимущества по сравнению с обычными нейронными сетями, включая скорость обработки, низкое энергопотребление и высокую пропускную способность данных.

Фотонные нейроморфные системы реализуются с использованием трёх основных компонентов: фотонных нейронов (ФН), фотонных синапсов (ФС) и фотонных соединений (ФК) [1–6]. ФН – это нелинейные элементы, имитирующие бионейроны. ФС – настраиваемые элементы, модулирующие связи между нейронами. ФК связывают нейроны и синапсы через сетевые топологии.

Развитие фотоники позволит использовать сверхбыстрые, энергоэффективные нейронные сети для обработки больших объёмов и потоков данных. ФВ идеальны для задач глубокого обучения, распознавания образов и различных видов оптимизации. Для реализации нейроморфных ФВ необходимо решить ряд проблем:

- эффективная реализация нелинейностей для выполнения функций активации;

- разработка стабильных источников света на чипах;

- технология производства и точность изготовления;

- разработка эффективных фотонных соединений.

Одним из наиболее эффективных вычислительных инструментов считаются фотонные резервуарные вычисления (PRC), обеспечивающие обработку сложных временных и пространственных данных. PRC могут реализовываться на полупроводниковых лазерах с задержкой либо на интегрированных фотонных схемах с использованием микрокольцевых резонаторов или волноводных решёток.

Развитие ФВ нужно для широкого спектра приложений, включая задачи анализа данных, телекоммуникаций, автономных систем реального времени.

Список литературы:

1. Боев С.Ф., Петренко С.А., Ступин Д.Д. Возможности построения адаптивной защиты информации в масштабируемых вычислительных структурах информационных систем // Всероссийская научно-техническая конференция (МВУС-2022). – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 21–25.
2. Voulodimos A., Doulamis N., Doulamis A., Protopapadakis E. Deep learning for computer vision: A brief review (2018). – p. 2018. Comput intelligence Neurosci.
3. Demirkiran C., et al. An electro-photon system for accelerating deep neural networks. – p. 01126. arXiv preprint (2021): arXiv:2109. DOI: 10.48550/arXiv.2109.01126
4. V. Bangari, et al., «Digital electronics and analog photonics for convolutional neural networks (DEAP-CNNs)», IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron, 2020/ – Vol. 26. – No. 1. – Pp. 1–13.
5. I. Chakraborty, G. Saha, A. Sengupta, and K. Roy, “Toward fast neural computing using all-photon phase change spiking neurons”, Sci. Rep., 2018. – Vol. 8. – No. 1. – p. 12980.
6. Wu J., Lin X., Guo Y., Liu J., Fang L., Jiao S. et al. Analog optical computing for artificial intelligence. Engineering (2021) 10:133–45. DOI: 10.1016/j.eng. 2021.06.021.



Обеспечение безопасности реактора РБМК-1000 в процессе полной выгрузки топлива из активной зоны после окончательного останова энергоблока

Г.В. Колибас¹, А.О. Толоконский²

¹ АО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежалея» – Москва, Россия;

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

В работе рассмотрены подходы к обеспечению безопасности реактора РБМК-1000 при подготовке его к выводу из эксплуатации в части полной выгрузки топлива из активной зоны реактора. Выполнен анализ пределов и условий безопасной эксплуатации с учётом особенностей эксплуатационного состояния реактора. Отмечена целесообразность автоматизации функций анализа показаний датчиков нейтронного потока, диагностики имеющихся запасов до порогов их чувствительности и выработки рекомендаций по перестановке датчиков в рамках отдельной системы информационной поддержки персонала.

Принципиальную основу всей деятельности по обеспечению безопасности энергоблока в период его подготовки к выводу из эксплуатации составляют реализация концепции глубоководной защиты и поддержание культуры безопасности, постоянное сравнение текущего состояния энергоблока с требованиями действующих нормативных документов и учёт опыта эксплуатации.

Важным для обеспечения безопасности энергоблока в целом и реакторной установки является соблюдение пределов и условий безопасной эксплуатации при проведении работ по извлечению ядерного топлива из активной зоны реактора вплоть до полной

его выгрузки. При этом следует учитывать особенности процесса полной выгрузки ядерного топлива из активной зоны реактора РБМК-1000 и необходимость обеспечения персонала, задействованного в данном процессе, соответствующими средствами контроля, управления и информационной поддержки. Предлагаемые принципы и условия обеспечения безопасности реактора на энергоблоке, остановленном для подготовки к выводу из эксплуатации, служат основой при разработке метода построения системы информационной поддержки персонала для реакторных установок в период их подготовки к выводу из эксплуатации.

Список литературы:

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (НП-001-15). Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М.: 2016.
2. МАГАТЭ. GSR Part 4 (Rev. 1). Оценка безопасности установок и деятельности. Общие требования безопасности». – 2016. – С. 15–16.

Проблема устойчивости киберфизических устройств в условиях воздействия «квантовых» угроз

А.А. Комарова, Д.Д. Ступин

Московский физико-технический институт – Москва, Россия

Квантовые вычисления (КВ) внедряются в интеллектуальные киберфизические (КФ) комплексы и системы, т.к. для ряда сложных задач квантовые компьютеры превосходят «классические». Применение квантовых компьютеров для кибератак на КФ комплексы создаёт новые угрозы для них. Поэтому важно обеспечивать инфобезопасность КФ комплексов и систем в условиях квантовых угроз.

Воздействие на КФ комплексы и системы может привести к нарушениям в их работе и негативным последствиям для объектов инфраструктуры, работу которых эти комплексы и системы обеспечивают. В работе КФ систем большую роль играют высокопроизводительные вычисления, в том числе – необходимые для решения задач:

1. Анализа многопараметрических процессов в природных и техногенных средах;
2. Работы с большими данными и потоками данных;
3. Распознавания, прогнозирования и т.д.;
4. Моделирования и оптимизации многомерных процессов и сценариев их протекания.

Необходимое условие при этом – обеспечение инфобезопасности [1, 2].

Использование КВ – способ повышения эффективности [1]. Процесс их внедрения в КФ системы необратим. Технологии обеспечения их безопасности должны отрабатываться уже на начальных этапах внедрения [4]. В плане механизмов воздействий на вычислительную инфраструктуру с КВ выделяются два: на вычислительную среду и на телекоммуникационную инфраструктуру.

Обеспечение безопасности КВ для КФ систем и комплексов важно в плане обеспечения их устойчивой работы и предотвращения экстремальных ситуаций на объектах инфраструктуры, включая энергетическую и производственно-технологическую.

Список литературы:

1. Боев С.Ф., Петренко С.А., Ступин Д.Д. Возможности построения адаптивной защиты информации в масштабируемых вычислительных структурах информационных систем // Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы: Материалы Всероссийской научно-технической конференции (МВУС-2022). Ростов-на-Дону, 2022. – С. 21–25.
2. Боев С.Ф., Петренко А.С., Петренко С.А., Ступин Д.Д. Квантовый криптоанализ криптосхем блокчейн-платформ // Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы: Материалы Всероссийской научно-технической конференции (МВУС-2022). Ростов-на-Дону, 2022. – С. 12–20.
3. Ломако А.Г., Петренко С.А., Ступин Д.Д. Научная проблема раннего предупреждения о компьютерном нападении: Труды XX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», 3–6 сентября 2018 г., Самара. – С. 499–505.
4. Петренко С.А., Ступин Д.Д. Вопросы обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры в условиях информационного воздействия с использованием квантовых технологий: Материалы XVIII Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2025). – Т. 2 – Тула: ТулГУ, 2025. – С. 338–343.



Оценка параметров ближнепольных первичных преобразователей для межсредной связи

С.Д. Комов, А.Ю. Глухов

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

При построении систем связи, основанных на эффекте магнитной индукции, важной задачей является расчёт параметров катушек индуктивности и определение ограничений применения системы с двумя катушками индуктивности. В докладе рассматриваются вопросы оценки параметров ближнепольных преобразователей для их применения в системах связи.

Классические способы беспроводной передачи информации, такие как радиоволны в воздушном пространстве и звуковые волны в акустическом пространстве, имеют различные ограничения к применению. Для организации связи на короткие расстояния порядка десятка метров целесообразно использовать ближнепольную связь (БПС).

Основным преимуществом БПС является независимость от рельефа местности, а соответственно, и отсутствие эффекта многолучевости. Также из преимуществ такого типа связи можно выделить незначительную задержку распространения сигнала и, соответственно, малое влияние эффекта Доплера.

В данной работе рассмотрен расчёт зависимости магнитного поля от расстояния для катушек индуктивности с различным

количеством витков, формой и током передающей катушки. Выведена зависимость выходного напряжения приёмной катушки индуктивности в зависимости от расстояния и параметров приёмной и передающей катушки. Представлены аналитические расчёты и математическое моделирование поля катушки индуктивности. Определена ширина полосы пропускания и пропускная способность магнитоиндуктивного канала для использования в системах связи с ближнепольными преобразователями.

Результаты данной работы могут использоваться при проектировании систем передачи информации через границу раздела двух сред с разной электрической проводимостью и связи абонентов, базирующихся в различных физических средах.



Анализ интеллектуальной системы автоматического управления энергетической установки с нечётким регулятором

Д.А. Корчагин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В энергетических установках система автоматического управления должна обеспечивать высокую точность и устойчивость регулирования при работе в условиях значительной нелинейности, неопределённости и жёстких требований к безопасности. Традиционные регуляторы, основанные на линейных моделях, в некоторых случаях могут не обеспечить требуемое качество управления при переходных процессах, резких изменениях нейтронно-физических параметров или возмущениях. В подобных условиях эффективным инструментом является применение нечётких регуляторов, использующих механизм лингвистических правил и функций принадлежности для описания сложного поведения объекта.

Работа посвящена анализу принципов построения интеллектуальной системы управления энергетической установки на основе нечёткой логики. Рассматриваются особенности формирования базы правил, учитывающей экспертные знания, а также выбор входных переменных, связанных с ключевыми нейтронно-физическими параметрами ядерных энергетических установок. Такие параметры обладают нелинейными взаимосвязями и сложной динамикой, что делает использование нечётких методов обоснованным.

Целью работы является разработка интеллектуальной системы автоматического управления энергетической установки с использованием нечёткого регулятора, а также проведение экспериментальной отработки и анализа системы на устойчивость к возмущениям, точность и быстродействие.

В ходе работы проведена разработка и отладка интеллектуальной системы управ-

ления с использованием методов нечётких множеств. Проведён сравнительный анализ работы нечёткого и классического регулятора при управлении различными режимами энергетической установки. Результаты моделирования показывают, что нечёткая система обеспечивает снижение перерегулирования, уменьшение амплитуды колебаний параметров и более стабильное поведение в переходных режимах, что критически важно для безопасной эксплуатации энергетических установок.

Разработанная интеллектуальная система будет иметь практическое применение в составе моделирующего комплекса энергетической установки. Полученные результаты открывают перспективы для интеграции таких систем в контуры управления реальных энергообъектов и их дальнейшего развития за счёт интеграции с предиктивными моделями, использующими аппарат нейронных сетей.



Разработка метода резервирования сервера расчётов системы верхнего уровня АСУ ТП на базе ТИУС

К.А. Куликов^{1,2}, В.О. Лебедев¹

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

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

В докладе описаны алгоритмы резервирования сервера расчётов для системы верхнего уровня на базе ТИУС. Рассмотрены алгоритмы, обеспечивающие синхронизацию состояния двух серверов расчётов в резервированной системе, а также взаимодействие пары резервированных серверов с другими компонентами системы верхнего уровня.

При разработке программных компонентов системы верхнего уровня АСУ ТП важно учесть возможные источники отказов, а также способы устранения их влияния на работоспособность системы с целью повышения её надёжности. Одним из способов обеспечения надёжности компонентов верхнего уровня АСУ ТП является резервирование [1]. Для уменьшения вероятности отказа по общей причине необходимо применять физически различные ЭВМ. Важнейшим критерием корректной работы резервированной пары серверов расчётов является идентичный выходной результат.

Для обеспечения корректности (достоверности) получаемых в результате выполнения расчётов и передаваемых в другие компоненты программного комплекса результатов необходимы синхронизация состояний резервированных серверов расчётов и обмен рабочими данными между ними. Ввиду использования физически

различных ЭВМ, в резервированной паре необходима реализация взаимодействия по сетевым протоколам.

Была разработана общая схема резервирования сервера расчётов, аппаратная схема сетевого взаимодействия двух физически различных ЭВМ сервера расчётов, а также схема их взаимодействия с прочими компонентами ТИУС. Был выбран протокол обмена данными и необходимый для оптимальной синхронизации состояний объём данных. Был разработан алгоритм согласования в части обработки входных параметров со стороны прочих компонентов программного комплекса, таких как команды квитирования сигнализации, а также выходных параметров, таких как запись в архив и подача команд на ПТК. Проведена апробация разработанного метода резервирования в рамках ПО сервера расчётов на стенде.

Список литературы:

1. Липатов И.Н. Надёжность функционирования автоматизированных систем: Конспект лекций. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 1996. – 67 с.



Аналоговые фотонные вычислительные устройства

Д.М. Линник

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» – Саров, Россия

Аналоговые оптические вычисления представляют собой перспективное направление исследований, которое может привести к созданию более эффективных вычислительных систем для решения определённых классов задач. Несмотря на существующие технические проблемы реализации таких систем, а также их ограниченную функциональность по сравнению с классическими электронными вычислительными системами, наблюдается значительный прогресс в исследованиях подходов к созданию оптических вычислителей, развиваются соответствующие технологии. Следует отметить и растущий интерес к оптическим вычислителям как со стороны академических институтов, так и со стороны технологических компаний. Ожидается, что в ближайшие годы будут получены новые прорывные решения в этой области, которые могут быть применены в различных областях, связанных с искусственным интеллектом, таких как машинное обучение, обработка изображений, нейронные сети.

В настоящее время РФЯЦ-ВНИИЭФ совместно с Самарским национальным исследовательским университетом, в рамках реализации научной программы Национального центра физики и математики, ведёт работы по созданию аналоговых фотонных вычислительных устройств (АФВУ) на основе принципов свободного распространения света. Созданы первые экспериментальные образцы АФВУ, продемонстрировавшие на задачах распознавания изображений производительность, на 1–2 порядка превосходящую производительность современных GPU, при существенно меньшем (в разы) энергопотреблении.

В докладе кратко излагаются проблематика, связанная с проектированием и созданием специализированных АФВУ, а также текущие результаты исследований в интересах создания экспериментальных образцов подобных вычислительных устройств.



Эффективные нейроморфные вычисления на базе фотоники

Д.Д. Ступин, И.В. Мельников, **А.Д. Лукьянова**

Московский физико-технический институт – Москва, Россия

Прогресс в области фотонных вычислений пока не позволил решить все проблемы для реализации систем с ИИ на их основе. Главная – создание эффективных нелинейных компонентов, которые интегрируются с линейными схемами. Существующие компоненты часто не обеспечивают эффективность фотонных нейронных сетей (НС). Рассмотрены направления исследований для эффективного аппаратного обеспечения фотонных вычислений для ИИ.

Ключевыми компонентами аппаратного обеспечения фотонных вычислений являются: память для хранения промежуточных результатов и обратной связи в НС [1–6]; гибридные оптоэлектронные устройства на базе фотонных интегральных схем (ФИС); волноводные системы с мультиплексированием по длине волны (WDM), по модам (MDM) и по поляризациям (PDM). Создание этих компонентов требует разработки ряда ключевых элементов, в частности: источников излучения на кристалле, модуляторов света, фотодетекторов и систем считывания, фотонных запоминающих устройств,

настраиваемых оптических аттенюаторов, волноводных датчиков и т.д. В свою очередь, достижения в области элементов должны опираться на работы по созданию специальных материалов, прежде всего, для нелинейных оптических устройств. Ведутся активные работы по кремнию, ниобату лития, фосфиду индия, полупроводникам группы A_3B_5 и ряду других. Успехи в реализации всех вышеназванных направлений исследований и разработок позволят прийти к созданию фотонных вычислителей для использования в решении широкого диапазона задач, включая задачи ИИ.

Список литературы:

1. Петренко С.А., Ступин Д.Д. Вопросы обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры в условиях информационного воздействия с использованием квантовых технологий: Материалы XVIII Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2025). – Т. 2 – Тула: ТулГУ, 2025. – С. 338–343.
2. Hochreiter S, Schmidhuber J. Long short-term memory. *Neural Comput* (1997) 9:1735–80. DOI:10.1162/neco.1997.9.8.1735.
3. Voulodimos A., Doulamis N., Doulamis A., Protopapadakis E. Deep learning for computer vision: A brief review (2018). p. 2018. *Comput intelligence Neurosci*.
4. Demirkiran C., Eris F., Wang G., Elmhurst J., Moore N., Harris N.C., et al. An electro-photonic system for accelerating deep neural networks. p. 01126. *arXiv preprint* (2021):arXiv:2109. doi:10.48550/arXiv.2109.01126
5. V. Bangari, B.A. Marquez, H. Miller, et al. Digital electronics and analog photonics for convolutional neural networks (DEAP-CNNs), *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 2020 – Vol. 26. – No. 1. – Pp. 1–13.
6. Tanaka G., Yamane T., Héroux J.B., Nakane R., Kanazawa N., Takeda S., et al. Recent advances in physical reservoir computing: A review. *Neural Networks* (2019) 115:100–23. DOI:10.1016/j.neunet.2019.03.005.

Подход к логическому выводу в интеллектуальной системе с учётом частоты и динамики данных

Ю.В. Малышев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Предложен подход логического вывода в условиях неопределённости с учётом задаваемого статистического материала и динамики поступающих данных для интеллектуальной системы, основанной на правилах продукции.

Одним из признаков интеллектуальной информационной системы является решение плохо формализуемых задач с неопределённостью и динамичностью исходных данных. Поступающие данные определяют соответствующую ситуацию, которая требует построения своего алгоритма. Предлагается для вывода в интеллектуальной системе подход на основе вычисления частоты к формированию динамического описания выбора.

В продукционных системах при возникновении конфликтного набора правил существует проблема выбора одного из возможных для применения правила. Известно применение эвристических принципов размещения продукций в базе знаний. При заданных условиях с учётом неопределённых факторов ставится задача нахождения решения, при котором, по возможности, достигается максимальное значение показателя эффективности вывода.

Для преодоления неоднозначности и прояснения ситуации доступные данные рассматриваются как первичная статистическая совокупность. Определяется частота рассматриваемого события выбора, на основании которой разрешается конфликт.

Для того чтобы учитывать больше вклад более поздних опытов, рассматриваются только последние опыты и каждому опыту приписывается вес (коэффициент важности) с убывающим до нуля значением для более ранних опытов. Величина для сравнения вычисляется как «взвешенная сумма».

Частота появления события рассматривается как желательность определённого выбора. Можно рассматривать используемую для сравнения частоту как определяющую количество появления события за отрезок времени и задающую скорость. При взаимной компенсации частот в точке покоя появляется неустойчивость, можно рассмотреть для сравнения их изменение.

Для каждого события обучением задаётся дополнительный параметр, который определяет обязательную минимальную величину результата, то есть увеличивает её при наличии важных событий. Этот параметр может быть задан как степень принадлежности нечёткому множеству.

Предлагается применять представленный подход логического вывода на основе учёта частоты и динамики данных для преодоления неоднозначности.



Канал воспроизведения малых токов

В.А. Федоров, **Е.С. Мартазов**, А.В. Менщиков, А.Ф. Фадеев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Создание недорогих прецизионных калибраторов малых постоянных токов актуально для моделирования сигналов детекторов ионизирующих излучений с целью проверки электронной измерительной аппаратуры каналов и систем контроля, управления и защиты (СУЗ) ядерных реакторных установок (РУ). Разработан канал воспроизведения малых токов, обеспечивающий непрерывное воспроизведение силы постоянного тока в диапазоне восьми декад (10^{-11} – 10^{-3} А) без переключения поддиапазонов. Рассматривается структура канала, его компоненты и характеристики.

В докладе обсуждаются различные подходы к построению управляемых источников тока. Основным компонентом канала является преобразователь напряжения в ток (ПНТ). Используя антилогарифмирующие свойства р-п-перехода, предложено выполнить ПНТ на основе одного из транзисторов сборки 198НТ5. Для обеспечения температурной стабильности характеристик преобразователя применяется термостатирование кристалла микросхемы. Стабилизация температуры кристалла производится автоматическим регулятором, для которого датчиком температуры и нагревательным элементом являются другие транзисторы сборки. Напряжение управления на входе ПНТ задаётся от цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), и, соответственно, оно будет пропорционально логарифму форми-

руемого тока. С помощью программы персонального компьютера задаются требуемые постоянные значения тока или законы его изменения, которые передаются через интерфейс USB в микроконтроллер, обеспечивающий управление ЦАП.

Изготовлен макет канала, и выполнены исследования его статических и динамических характеристик. Определено влияние температуры окружающей среды на погрешности воспроизведения силы тока.

Разработанный канал воспроизведения силы тока будет полезен при создании широкодиапазонных имитаторов сигналов нейтронных детекторов и систем автоматизированной поверки аппаратуры контроля нейтронного потока РУ, работающей с токовыми ионизационными камерами.

Сравнительное исследование моделей сегментации изображений для автоматического выделения треков мод на ионограммах радиозондирования ионосферы

С.В. Масюченко¹, А.О. Щирий²

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

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

Рассматривается задача автоматического выделения и классификации треков на ионограммах наклонного зондирования с использованием методов машинного обучения. Проведено сравнительное исследование архитектур и результирующих метрик нейросетей для сегментации изображений, таких как Mask R-CNN, YOLO11-seg и другие. Модели обучены на 250 размеченных ионограммах с шести радиолиний и различают три класса треков.

Автоматическая обработка ионограмм – ключевой элемент оперативного мониторинга ионосферы. Центральное место в этой задаче занимает автоматическое обнаружение и классификация треков – визуальных проявлений отражённых мод радиосигнала на ионограммах. В настоящей работе предложен подход, основанный на современных методах машинного обучения и компьютерного зрения, в частности – на нейросетевых архитектурах для инстанс-сегментации.

В рамках исследования проведено сравнительное тестирование ряда передовых моделей, включая классическую Mask R-CNN (с backbone ResNet-50 и Feature Pyramid Network), а также более современные подходы – YOLOv11-Seg, разработанные в рамках семейства YOLO (You Only Look Once) и адаптированные для задач

сегментации. Эти модели отличаются высокой скоростью инференса и улучшенной архитектурой feature extraction, что делает их перспективными для обработки больших объёмов данных.

В качестве обучающего набора использовано 250 ионограмм, полученных при наклонном зондировании по шести радиотрассам: Хабаровск–Йошкар-Ола, Магадан–Йошкар-Ола, Норильск–Йошкар-Ола, Усолье–Йошкар-Ола, Кипр–Йошкар-Ола и Кипр–Москва (Троицк). Вручную выполнена пиксельная разметка треков с выделением трёх классов: «нижний», «верхний» и «неопределённый».

На тестовой выборке базовая модель Mask R-CNN показала следующие результаты: $mAP@50=0,561$, $mAP(IoU\ 0.5:0.95)=0,234$, $mAR@100=0,357$.

Список литературы:

1. Щирий А.О. Алгоритмы и программное обеспечение автоматизации процессов измерений и обработки данных оперативной диагностики ионосферы и ионосферных радиолиний // Журнал радиоэлектроники. – 2022. – №10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.10.4>.



Применение имитационного моделирования для совершенствования процессов пусконаладки автоматических регуляторов энергоблока АЭС с ВВЭР

Д.С. Менюк, А.О. Толоконский

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Пусконаладка нового энергоблока представляет собой комплексную научно-техническую и инженерную проблему, характеризующуюся высокой степенью сложности и многогранности. Ключевые особенности данной задачи связаны с необходимостью подготовки и опытной проверки значительной номенклатуры технологического оборудования, ответственного за выполнение основных процессов в режиме штатной эксплуатации.

Важным фактором, осложняющим процедуру наладки, является внесение изменений в проектную документацию на этапе пусконаладочных работ. Данное обстоятельство обуславливает необходимость выполнения дополнительных регулировок систем автоматического управления, что, в свою очередь, ложится на персонал специализированных наладочных организаций. Указанный фактор является одной из ключевых причин, приводящих к увеличению сроков ввода энергоблока в промышленную эксплуатацию.

Использование методов математического моделирования представляется целесообразным и необходимым при решении подобных задач ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС. Уникальный статус атомных энергоблоков как объектов повышенной ядерной опасности и капиталоемкости обуславливает высокие требования к безопас-

ности и экономической эффективности их сооружения. Математическое моделирование позволяет минимизировать временные и финансовые издержки, связанные с настройкой систем управления на реальном объекте.

Предлагаемый подход демонстрирует высокую эффективность для ускорения разработки и отладки сложных технических систем, для которых прямое экспериментирование сопряжено со значительными затратами или жесткими ограничениями по безопасности. Следует отметить, что в отличие от многих других сложных систем, каждый энергоблок АЭС даже в рамках единого проекта представляет собой уникальный объект, что требует индивидуального подхода к его наладке и подтверждает актуальность применения адаптивных методов, основанных на его цифровой модели.

Список литературы:

1. Сааков Э.С. Ввод в эксплуатацию энергоблоков АЭС / Э.С. Сааков, С.И. Рясный. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 496 с.: ил.
2. СТО 1.1.1.03.003.0914-2013. Ввод в эксплуатацию блоков атомных станций с водо-водяными энергетическими реакторами. Порядок выполнения и приемки пусконаладочных работ на АСУ ТП.



Интеграция систем управления и сбора данных диагностик с центральной системой управления и инфраструктурой установки ИТЭР

Н.В. Нагорный^{1,2}, С.С. Портоне¹, Е.Ю. Миронова¹, Д.И. Гужев¹, Н.Н. Бутрова¹,
Д.А. Авдюшкин¹, Т.В. Арбузова¹, Д.А. Сафин¹, В.Е. Мельников¹, А.В. Петракова^{1,2},
Д.В. Бондарев^{1,2}, О.И. Семенов¹, И.Б. Семенов¹

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

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

В настоящее время технические проекты многих систем управления и сбора данных проекта ИТЭР, входящих в диагностический и технологический комплексы, получили детальную проработку аппаратных и программных архитектур, функциональных структур, режимов работы, программных и человеко-машинных интерфейсов, вопросов надёжности и производительности. Были созданы макеты и прототипы как отдельных устройств, так и групп измерительных каналов и крупных узлов систем управления. За время выполнения проектов у разработчиков систем в различных организациях и институтах, Домашнем Агентстве и международной организации ИТЭР накопилось большое количество вопросов и уточнений к изначально принятому процессу (методике) проектирования, некоторым требованиям к АСУ, решениям для интеграции разрабатываемых диагностических и технологических систем с центральной системой управления ITER CODAC.

В докладе представлены обобщённые результаты работ над системами сбора данных и управления диагностик «Вертикальная нейтронная камера», «Активная спектроскопия», «Спектроскопия водородных линий». Освещены вопросы, накопленные при совместной проработке проектов систем управления диагностик «Диверторный монитор нейтронного потока», «Анализаторы атомов перезарядки», «Томсоновское рассеяние в диверторе», а также систем управления технологическими системами.

Собран обзор изменений со стороны МО ИТЭР по вопросам интеграции с группой управления D1 (“Diagnostic Measurement Systems”), обеспечивающей интеграцию всего диагностического измерительного комплекса с центральной системой управ-

ления. Приведены обновления по различным программным компонентам, применимым при работе с научными данными, и изменениям в методиках проектирования систем. Также собраны текущие результаты для стадии подготовки к производству (MRR) и обзор возникших вопросов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» в рамках Государственного контракта № Н.4а.241.09.25.1016 от 21.03.2025 «Разработка, опытное изготовление, испытание и подготовка к поставке специального оборудования в обеспечение выполнения российских обязательств по проекту ИТЭР в 2025 году».



Исследование методов автономного подписания усиленной квалифицированной электронной подписью документов в PLM-системе без доступа к сети интернет

С.И. Новиков², О.В. Ульянин^{1,2}, П.А. Лычагин²

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

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

Рассмотрены вопросы использования усиленной квалифицированной электронной подписи (УКЭП) при выпуске электронной конструкторской документации (КД) в среде системы управления жизненным циклом изделий (PLM-системы) без доступа к сети интернет. Исследованы методы автономного подписания УКЭП документов в PLM-системе без доступа к сети интернет. Продемонстрирована практическая апробация выбранного метода автономного подписания документов УКЭП с использованием локальных списков отзыва сертификатов.

В докладе рассмотрены вопросы использования УКЭП при выпуске электронной конструкторской документации в среде PLM-системы без доступа к сети интернет. Эти вопросы рассмотрены на примере ведущей научно-исследовательской организации Госкорпорации «Росатом» – ФГУП «ВНИИА».

До настоящего времени для изделий, выпускаемых институтом, применялась для подписания электронной КД простая электронная подпись. В связи с принятием новых документов по стандартизации оборонной продукции, регламентирующих создание электронной КД на военную продукцию, возникла потребность применения УКЭП в PLM-системе.

В организациях, разрабатывающих оборонную продукцию, предъявляются повышенные требования к информационной безопасности, в связи с чем запрещена связь между внутренней корпоративной сетью и внешней сетью интернет. В этом случае

отсутствует связь с удостоверяющим центром, выдавшим личный сертификат пользователя. Поэтому возникает задача организации автономного подписания документов УКЭП и проверки действительности сертификата пользователя без постоянного подключения к сети Интернет.

Для решения этой задачи авторами была проведена исследовательская работа и разработаны методы автономного подписания УКЭП документов в PLM-системе без доступа к сети интернет:

- с применением локальных списков отзыва сертификатов;
- с контролем доступа к серверу списков отзыва сертификатов через межсетевой экран.

Исследование подтвердило возможность использования УКЭП в системах электронного документооборота предприятий с повышенными требованиями к защите информации.

Кластерный анализ публикаций по беспроводной связи на основе сигналов с орбитально-модовой модуляцией

А.К. Орешкина, С.А. Петров

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

В работе выполнен кластерный и библиометрический анализ научных публикаций по беспроводной связи с орбитальным угловым моментом (ОУМ). На основе статей из eLibrary, Scopus, Web of Science, IEEE Xplore проведена предварительная обработка метаданных. С помощью тематического моделирования и иерархической кластеризации выявлены латентные тематические группы. Построены графы связей между ключевыми словами и авторами, отражающие взаимодействия в научном сообществе.

В последние годы интерес к беспроводной связи, использующей орбитально-модовую (ОУМ) модуляцию, значительно возрос. Активно разрабатываются методы мультиплексирования, позволяющие передавать десятки-сот независимых каналов в одном спектральном диапазоне, что открывает новые возможности для систем 5G и 6G. Благодаря своей гибкости ОУМ-технологии могут быть эффективно интегрированы с другими подходами, что делает их перспективными не только в телекоммуникациях, но и в робототехнике.

Для комплексного анализа научных публикаций по этой теме требуется систематизация статей, распределённых по журналам, тематикам и странам, а также выделение ключевых технологических направлений и лидирующих исследовательских групп. Предлагается интегрированный подход, позволяющий построить полную картину исследовательского поля ОУМ-коммуникаций.

Для анализа собраны метаданные из баз eLibrary, Scopus, Web of Science и IEEE Xplore за период 2008–2024 гг. Проведена предварительная обработка данных: нормализация записей, унификация терминологии, лемматизация, удаление стоп-слов и формирование корпуса текстов. На основе полученных TF-IDF-векторных представлений выполнены тематическое моделирование и иерархическая агломеративная кластеризация, что позволило выделить латентные тематические группы.

Полученные результаты формируют визуальное и количественное представление научного ландшафта ОУМ-коммуникаций, позволяют быстро ориентироваться в текущем состоянии области, определить перспективные технологии и сформировать базу для дальнейшего планирования исследовательских программ и стандартизации.



Разработка и интеграция модуля локализации мобильной платформы на основе комплексирования данных с датчиков

К.А. Осипов^{1,2}, Д.Д. Подколзин²

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

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

В ходе работы реализованы методы локализации мобильной платформы на основе комплексирования данных с датчиков с последующей интеграцией в систему управления. Проведена серия натурных и симуляционных испытаний для сравнения реализованных методов. Подготовлены рекомендации по выбору конфигурации датчиков и параметров фильтрации для повышения точности локализации роботов.

Современные системы локализации отдельных типов датчиков обладают ограниченной точностью при изменении внешних условий. Так, например, инерциальный блок измерений накапливает дрейф по углу и ускорению, колёсная одометрия чувствительна к проскальзываниям колёс. Для повышения точности и устойчивости локализации необходимо комплексировать данные от различных источников одометрии [1].

В ходе работы был реализован программный модуль локализации, обеспечивающий объединение и фильтрацию данных в реальном времени. Для отладки и тестирования реализована компьютерная модель мобильной платформы. В рамках серии испытаний сформированы рекомендации по выбору конфигурации датчиков для повышения точности и устойчивости локализации. Кроме того, рассмотрены такие методы оценки

пространственного положения робота, как фильтр Калмана и фильтр частиц [2], а также методы локализации на основе данных с лазерного дальномера и инерциального блока измерений.

Проведённые симуляционные и натурные испытания подтвердили эффективность и практическую значимость разработанного подхода – комплексное использование данных колёсной одометрии, инерциального измерительного блока и лазерного дальномера позволяет существенно повысить точность и устойчивость локализации мобильной платформы по сравнению с системами, использующими данные каждого датчика в отдельности. Разработанные программные модули могут быть интегрированы в существующие робототехнические устройства предприятия с минимальными изменениями архитектуры системы управления.

Список литературы:

1. Zhao S., Zhang H. et al. // Super Odometry: IMU-centric LIDAR-Visual-Inertial Estimator for Challenging Environments. April 2021. Available at: <https://arxiv.org/abs/2104.14938> [accessed November 13, 2025].
2. Dudek G., Jenkin M. // Computational Principles of Mobile Robotics. // Cambridge University Press, 2024.



Оценка стоимости бор-нейтронозахватной терапии при использовании компактных нейтронных генераторов

Н.С. Павлюченко, А.О. Толоконский

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Одной из главных стратегических задач ГК «Росатом» является создание новых продуктов для российского и международных рынков. К таковым продуктам относятся компактные нейтронные генераторы для ядерной медицины и, в частности, для бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ, за рубежом BNCT – Boron Neutron Capture Therapy).

Лечение методом БНЗТ основано на том факте, что ядро ^{10}B имеет очень высокое сечение захвата нейтронов (почти в 4 раза выше сечения поглощения ураном-235) и распадается, преимущественно за счёт α -излучения (с малой длиной пробега). Бор вводится в злокачественные опухоли и затем облучается нейтронами. БНЗТ представляет собой терапию с наименьшим воздействием на качество жизни пациента по сравнению с другими методами (лучевой, химиотерапии, биологической) [1]. В мире существует около шестнадцати центров БНЗТ, основанных на компактных ускорителях, находящихся на различных стадиях разработки. В РФ накоплен большой опыт производства компактных нейтронных генераторов для различных отраслей промышленности [2], однако их использование в целях ядерной медицины только начинается. Поэтому представляет большой научный и практический интерес оценка

экономической эффективности и рисков использования нейтронных генераторов для БНЗТ. В настоящей работе предпринята попытка оценить стоимость медицинских услуг с использованием нейтронного генератора на основе методики инвестиционного анализа МИФИ [3].

Если принять, что ядерный медицинский центр стоимостью $K=50$ млн \$, при $Y=12$ млн \$/год, $D=5$ млн \$, периоде сооружения центра 4 года, эксплуатации 20 лет и декомиссии 2 года обслуживает 1 000 пациентов в год (4 человека за рабочий день), то приведённая стоимость БНЗТ-терапии составит 16–22 тыс. \$ на каждого больного (при ставках дисконтирования 3–15 %/год, при которых $A=7$ –22 %/год и $\delta=1$ –4 %/год). Часть стоимости услуг может покрывать страхование. Однако для снижения LCOT необходимо рассмотреть возможности снижения капитальных и эксплуатационных затрат медцентра.

Список литературы:

1. Designing, Operating and Financing a BNCT Center. <https://cosylab.com/medical/designing-operating-and-financing-a-bnct-center/>.
2. Корякин С.Н., Кайдан Н.А., Исаева Е.В. и др. Опыт применения портативного отечественного нейтронного генератора в схемах гамма-нейтронной терапии домашних животных со злокачественными новообразованиями // Радиация и риск. – 2018. – Т. 27. – № 1. – С. 94–106.
3. Харитонов В.В., Косолапова Н.В., Ульянин Ю.А. Прогнозирование эффективности инвестиций в многоблочные электростанции. // Вестник НИЯУ МИФИ. – 2018. – Т. 7. – № 6. – С. 545–562.



Разработка элементов технического проекта диагностики «Спектроскопия Водородных Линий» в Enterprise Architect

А.В. Петракова^{1,2}, Н.В. Нагорный^{1,2}, Н.Н. Бутрова¹, Д.М. Бондарев^{1,2},
Д.А. Авдюшкин¹, Д.И. Гужев¹

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

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

Одной из диагностик, используемых в токамаке ИТЭР, является диагностика «Спектроскопия Водородных Линий» (СВЛ). Эта диагностика основана на анализе спектра излучения изотопов водорода и позволяет получать данные о состоянии плазмы (температура, концентрация ионов и электронов, наличие примесей и др.).

Целью данной работы являлась разработка элементов технического проекта диагностики СВЛ с использованием программного пакета Enterprise Architect. В рамках исследования были проанализированы технические требования для разработки систем управления, технические требования к аппаратной архитектуре системы, в проект добавлены проработанные аппаратные архитектуры разных уровней детализации, а также операционные процедуры (Operation Procedure) для обеспечения надёжной работы диагностики.

В ходе работы были выполнены следующие задачи: анализ функциональных и нефункциональных требований к диагностике СВЛ, разработка машины состояний системы, включая состояния очистки зеркал, асинхронной калибровки и позиционирования элементов, создание High Level Hardware Architecture и Detailed Level

Hardware Architecture в Enterprise Architect, заполнение атрибутов операционных процедур для обеспечения их связанности и чёткого описания процессов управления.

Полученные результаты, включая выгруженные спецификации System Design Specification (SDS) и System Requirement Specification (SRS), могут быть использованы для дальнейшего внедрения в проект ИТЭР. Данная работа представляет собой важный этап в создании диагностики СВЛ и будет использована при защите проекта на Final Design Review.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта №Н.4а.241.09.25.1016 от 21.03.2025 «Разработка, опытное изготовление, испытание и подготовка к поставке специального оборудования в обеспечение выполнения российских обязательств по проекту ИТЭР в 2025 году».



Автоматизация обнаружения и идентификации удалённо управляемых средств измерений

Д.А. Родионов

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

В докладе рассмотрены способы обнаружения и идентификации средств измерений, подключаемых по различным интерфейсам связи. Предложены подходы к автоматизации подготовки таких устройств к работе в составе стендов проверки модулей ТПТС.

Во ВНИИА и на других предприятиях ГК «Росатом» широко применяются средства измерений, преобразователи интерфейсов и системы коммутации. Задачи исследований и производства требуют комплексной автоматизации работы с этим оборудованием. При этом подключение и подготовка приборов к использованию также предполагает множество ручных операций. Максимальная автоматизация этих операций может значительно ускорить и упростить проведение исследовательских и производственных работ, особенно в условиях частой замены одних приборов на другие, как это происходит, например, в цехах проверки аппаратуры ТПТС.

В докладе рассмотрены принципы подключения современных средств измерений к компьютеру по различным интерфейсам связи, таким как USB, COM, GPIB, LAN. Рассмотрены стандарты и протоколы для обмена данными, такие как VISA (Virtual Instrument Software Architecture) и SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments), используемые при подключении по этим интерфейсам, а также роль драйверов конкретных устройств. Отдель-

но рассмотрены принципы обнаружения и идентификации в системе подключённых средств измерений.

Предложены варианты автоматического поиска устройств разных типов, подключаемых по различным интерфейсам связи. В зависимости от интерфейса и особенностей реализации конкретного прибора для обнаружения и идентификации применяются различные методы и параметры. Методом обнаружения прибора в системе может быть как автоматическое распознавание подключённого устройства, поддерживающего соответствующие стандарты, так и поиск прибора по определённым параметрам. Параметрами для обнаружения и идентификации могут быть адрес на шине, логический адрес в сети, собственный внутренний адрес прибора, логический номер используемого порта, уникальный заводской номер и другие параметры, используемые по отдельности или в связке друг с другом.

Проанализированы результаты проведённого внедрения разработанных модулей автоматического обнаружения и идентификации приборов в рамках стендов проверки модулей ТПТС.



Алгоритм общецлочного регулятора мощности энергоблока АЭС в маневренных режимах

А.О. Толоконский, **А.А. Сафаргалин**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Доклад посвящён разработке алгоритма общецлочного регулятора мощности для энергоблока АЭС, работающего в маневренных режимах. Цель работы – создание формализованных правил для прогнозного расчёта управляющих воздействий, обеспечивающих выполнение произвольного суточного графика электрической нагрузки без нарушения технологических ограничений. Оптимизация управления осуществляется по критериям минимизации водообмена или перемещений органов регулирования. Предложенный подход позволяет оперативно оценивать возможность выполнения заданного графика нагрузки и формировать оптимальные управляющие воздействия для систем борного регулирования, регулирования мощности реактора и системы управления и защиты реактора.

Рост доли атомной генерации в энергосистеме России и потенциально высокая доля АЭС в энергосистемах других стран обуславливают необходимость повышения маневренности атомных энергоблоков. Целью работы является разработка алгоритма общецлочного регулятора мощности для энергоблока проекта АЭС-2006, обеспечивающего выполнение произвольного суточного графика нагрузки [1] при одновременной оптимизации эксплуатационных показателей.

В качестве управляющих воздействий управления мощностью реактора принимаются: изменение положений групп органов регулирования СУЗ, изменение концентрации борной кислоты в 1 контуре, изменение заданного давления во 2 контуре.

В основе алгоритма лежит упрощённая модель ядерного реактора, учитывающая неравномерность энерговыделения активной зоны по высоте [2].

На вход алгоритма поступают: график нагрузки, архивные данные и технологические ограничения. Результатом работы является заключение о достижимости графика и оптимальные управляющие воздействия (концентрация борной кислоты, положение ОР СУЗ, давление).

Предлагаемый алгоритм регулятора позволяет получить практический результат в виде целевых управляющих воздействий энергоблока за счёт применения оптимизационных подходов.

Список литературы:

1. С.П. Аверьянова, А.А. Дубов и др. Работа ВВЭР-1200/1300 в суточном графике нагрузки // Атомная энергия. – Т. 113. – 2012. – № 5. – С. 247–252.
2. П.Е. Филимонов // Управление энергораспределением ВВЭР с помощью офсет-офсетной диаграммы // Атомная энергия. – Т. 73. – 1992. – № 3. – С. 175–179.



Интеграция логических контроллеров для управления вакуумной системой стенда Port Plug Test Facility проекта ИТЭР

Д.А. Сафин, Н.В. Нагорный, Е.Ю. Миронова, С.С. Портоне, Ю.Н. Румянцев

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

В настоящее время завершается этап производства (включая прохождение защиты проекта Manufacturing Readiness Review, MRR) и начинается этап заводских испытаний системы управления неядерным стендом № 3 (FAT) перед поставкой всего стенда PPTF на площадку ИТЭР.

На примере системы вакуумирования испытательной камеры Port Plug Test Facility (PPTF) в докладе рассматриваются основные этапы технологического процесса вакуумирования под управлением «медленно-го» контроллера Siemens S7-1500:

- контроль течеискателя;
- состояние запирающей арматуры;
- проверка давления в контурах;
- достижение форвакуума;
- достижение «высокого» вакуума.

В докладе освещены нюансы и трудности, которые были выявлены в рамках создания программного и настройки аппаратного обеспечения, а также подготовки заводских испытаний. Рабочая документация стенда включает алгоритмы технологических процессов, примеры детализированной документации системы управления на базе контроллера Siemens S7-1500, детальное описание ПО, монтажную документацию стоек системы управления и другого необходимого оборудования, а также инженерных экранов оператора, которые используются

для детального тестирования на этапе заводских испытаний.

Ввиду того, что сроки проектирования, производства и поставки систем управления для технологических подсистем ИТЭР имеют продолжительные временные рамки, быстрое развитие технологий и оптимизация процессов создают новые сложности для интеграции систем управления. Именно поэтому данный доклад поможет разработчикам систем управления подготовиться к этапам MRR и FAT технологических систем и, находясь ещё на стадии дизайна, учесть требования и особенности производства с целью правильного распределения ресурсов и создания документации.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта № Н.4а.241.09.25.1016 от 21.03.2025 «Разработка, опытное изготовление, испытание и подготовка к поставке специального оборудования в обеспечение выполнения российских обязательств по проекту ИТЭР в 2025 году».



Применимость генеративно-сопоставительных нейронных сетей для синтеза ионограмм радиозондирования ионосферы

А.Н. Сингин¹, А.О. Щирий²

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

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

Рассмотрена применимость генеративно-сопоставительных нейронных сетей (GAN) в задаче синтеза ионограмм радиозондирования ионосферы, в итоге сделан вывод о применимости GAN. Обозначены ключевые преимущества GAN, описаны сложности реализации условного GAN и возможные пути их устранения. Намечены задачи дальнейших исследований.

Синтез ионограмм радиозондирования ионосферы нейронными сетями актуален для уточнения математических моделей и создания синтетических выборок. Эта задача в данной работе сводится к условной генерации изображению. Условием выступает вектор метаданных, представленный физическими и пространственно-временными характеристиками сеанса радиозондирования. Целевым изображением выступает монохромная ионограмма, полученная в рамках той же сессии. В совокупности данные формируют обучающую выборку, представленную в специальном формате [1].

GAN поддерживает направление генерации условием и является оптимальной архитектурой с точки зрения вычислительных ресурсов и потока качества изображения. Классический условный GAN [2] не приме-

ним из-за низкой доли пикселей с полезным сигналом среди общего числа пикселей ионограммы. В качестве решения проблемы оригинальные масштабирующие блоки ConvTranspose [2] были заменены на ResNet Bilinear Upsample блоки. Функция потерь использовалась составная. Она сочетала решение дискриминатора, попиксельную меру схожести L1 и близость карт признаков генератора, а также взвешивала их.

В рамках работы удалось обеспечить генерацию схожих по силуэту с ионограммами текстур. Для обеспечения достаточной визуальной схожести необходимо уточнить соотношение размеров генератора и дискриминатора, веса составных компонент функции потерь генератора, а также предусмотреть меры повышения стабильности процесса обучения дискриминатора.

Список литературы:

1. Щирий А.О. Алгоритмы и программное обеспечение автоматизации процессов измерений и обработки данных оперативной диагностики ионосферы и ионосферных радиополос // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. – 2022. – № 10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.10.4>.
2. Mirza M., Osindero S. Conditional Generative Adversarial Nets // arXiv [электронный ресурс]. – 2014. – DOI: 10.48550/arXiv.1411.1784.

Нелинейные фотонные архитектуры для оптических вычислений

И.В. Мельников, **В.А. Соколов**, Д.Д. Ступин

Московский физико-технический институт – Москва, Россия

Оптические вычисления сегодня представлены несколькими платформами. Они позволяют выполнять ряд операций, используемых в технологиях ИИ. Каждая платформа поддерживает различные вычислительные модели для организации эффективных вычислений высокой размерности и сложности.

Оптические вычислительные платформы (ОП) делят на четыре типа: ОП когерентной интеграции, ОП некогерентной интеграции, ОП пространственного распространения и ОП оптоволокон. ОП когерентной интеграции подходят для выполнения линейных операций. Эффективны для матричных операций. Некогерентные ОП подходят для реализации нелинейных операций в нейронных сетях. Применяются для создания адаптивных схем [1]. ОП пространственного мультиплексирования позволяют работать с информационными потоками [2–4]. ОП на основе волокон используют для временных и спектральных преобразований [5–7], например, для распознавания временных образов. Перспективна технология «оптического резервуара» [6].

Она позволяет эффективно работать с временными шаблонами, временными рядами, хаотическими последовательностями.

Фотонные нейронные сети обеспечивают энергоэффективные вычисления, включая нелинейные операции, и построение многослойных нейронных сетей. Возможно также создание нейронных сетей со спайками [7–8], что позволяет решать задачи распознавания временных образов (обработка речи, анализ видео).

Вычисления на основе резервуаров фотонов (PRC) реализуют многомерные нелинейные преобразования входных данных, которые можно использовать для классификации, прогнозирования временных рядов и задач оптимизации.

Список литературы:

1. Петренко С.А., Ступин Д.Д. Вопросы обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры в условиях информационного воздействия с использованием квантовых технологий: Материалы XVIII Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2025). – Т. 2 – Тула: ТулГУ, 2025. – С. 338–343.
2. J. Chang, etc. Hybrid optical-electronic convolutional neural networks with optimized diffractive optics for image classification, *Sci. Rep.*, 2018 – Vol. 8. – No. 1. – P. 12324.
3. Y. Zuo, B. Li, Y. Zhao, and Y. Jiang, All-optical neural network with nonlinear activation functions, *Optica*, 2019 – Vol. 6. – No. 9. – Pp. 1132–1137.
4. Inagaki T, etc. Large-scale Ising spin network based on degenerate optical parametric oscillators. *Nat Photon* (2016) 10(6): 415–9. DOI:10.1038/nphoton.2016.
5. Larger L., Soriano M.C., Brunner D., Appeltant L., Gutierrez J.M., Pesquera L., et al. Photonic information processing beyond turing: An optoelectronic implementation of reservoir computing. *Opt Express* (2012) 20(3):3241–9. DOI:10.1364/OE.20.003241.
6. Takano K., Sugano C., Inubushi M., Yoshimura K., Sunada S., Kanno K., et al. Compact reservoir computing with a photonic integrated circuit. *Opt Express* (2018) 26(22): 29424–39. DOI:10.1364/OE.26.029424.
7. J. Feldmann, N. Youngblood, C.D. Wright, H. Bhaskaran, W.H.P. Pernice. All-optical spiking neurosynaptic networks with self-learning capabilities. *Nature* 569, 208–14 (2019).
8. Duport F., Schneider B., Smerieri A., Haelterman M., Massar S. All-optical reservoir computing. *Opt Express* (2012) 20(20):22783–95. DOI:10.1364/OE.20. 022783.



Роль устойчивости вычислительной среды в обеспечении функционирования масштабных киберфизических систем

С.А. Петренко, **Д.Д. Ступин**

Московский физико-технический институт – Москва, Россия

Рассматривается роль информационной инфраструктуры, обеспечивающей работу киберфизических систем (КФС), обеспечивающих объекты производственно-технологической инфраструктуры (ПТИ), в противодействии недружественным воздействиям. Показана связь угроз для ПТИ с воздействием на её вычислительный сегмент, анализируются инструменты для его защиты.

Одна из составляющих устойчивой работы ПТИ – устойчивость КФС, обеспечивающих эту работу. На ПТИ могут влиять различные угрозы, неспособность противостоять им ведёт к потере работоспособности. Одно из последствий – нарушение работы КФС. Взаимосвязь различных процессов в рамках ПТИ обусловила трансформацию «локальных» угроз в «многопараметрические» угрозы, объектом которых является уже не только сама ПТИ, но и другие инфраструктурные объекты, смежные с ПТИ: экологические, энергетические, социальные [1].

Обеспечение безопасности требует предупреждения и купирования всех типов угроз. Для этого необходима система предупреждения угроз (СПУ) [2]. Исследованы достоинства и недостатки СПУ. В части достоинств:

1. Наличие СПУ повышает живучесть ПТИ и смежных с ней инфраструктур;

2. Есть возможность принятия ответных мер в случае внешних воздействий.

В части недостатков:

1. Модель потенциальных угроз требует постоянной модификации;

2. Создание СПУ является ресурсоемкой задачей.

Можно выделить следующие направления R&D при создании СПУ:

1. Исследование и анализ возможных сценариев угроз;

2. Выявление новых источников угроз и новых принципов защиты от угроз.

Исследование выполнено в рамках проекта «Технологии противодействия ранее неизвестным квантовым киберугрозам», реализуемого по госпрограмме «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус» (Соглашение № 23-03 от 27.09.2024 г.).

Список литературы:

1. Боев С.Ф., Кочкаров А.А., Скобелев П.О., Ступин Д.Д. Обеспечение государственной безопасности в контексте взаимосвязи оборонных, техногенных и социальных угроз: Труды XVII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». 22–25 июня 2015 г., Самара. – С. 192–194.
2. Ломако А.Г., Петренко С.А., Ступин Д.Д. Научная проблема раннего предупреждения о компьютерном нападении: Труды XX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», 3–6 сентября 2018 г., Самара. – С. 499–505.
3. Петренко С.А., Ступин Д.Д. Вопросы обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры в условиях информационного воздействия с использованием квантовых технологий: Материалы XVIII Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2025). – Т. 2 – Тула: ТулГУ, 2025. – С. 338–343.



Система поиска противоречий в документах по вопросам обеспечения радиационной безопасности с использованием технологий искусственного интеллекта

А.А. Болотов, Е.Н. Жирнов, А.А. Ашуркин, В.Г. Барчуков, **С.В. Талдытов**, А.С. Галузин
ФГБУ «ГНЦ РФ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России – Москва, Россия

Разработан прототип системы, обеспечивающей автоматизированное выявление совпадений и противоречий в нормативных документах по радиационной безопасности на основе методов семантического моделирования и натурально-языкового вывода.

В области радиационной безопасности применяется комплекс нормативных, методических и технических документов, регулирующих проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации радиационно опасных объектов. Различия в формулировках и способах изложения требований нередко приводят к расхождениям в их трактовке, что усложняет процесс экспертной оценки, повышает риск принятия некорректных решений. В связи с этим возрастает потребность в автоматизированных инструментах, способных анализировать нормативные тексты и выявлять смысловые противоречия.

Целью настоящей работы является создание прототипа системы для автоматического обнаружения совпадений, противоречий и пересечений в нормативных документах. В основе разработанного подхода лежат современные методы обработки естественного языка, включая построение семантических эмбедингов для представления предложений в векторной форме и применение механизмов натурально-языкового

вывода (NLI), позволяющих определять характер логической связи между текстовыми фрагментами. Использование этих моделей делает возможным сравнение текстов по их смысловому содержанию.

Программная реализация системы выполнена на языке Python с использованием фреймворка gRPC. Алгоритм обработки включает предварительную очистку текстов от редакционных элементов, нормализацию, разбиение на предложения, построение эмбедингов, расчёт косинусного сходства между фразами и выделение наиболее релевантных пар для дальнейшего анализа. Для классификации логических отношений применяется модель, позволяющая точно определять тип связи между предложениями.

Результаты представляются в виде пар предложений с оценкой сходства и типа логического отношения. Инструмент снижает трудоёмкость анализа нормативных документов и повышает объективность экспертных выводов.



Разработка программного модуля построения трёхмерных карт и локализации мобильной платформы на основе интеграции данных с лазерного дальномера, инерциального измерительного блока и камеры глубины

М.С. Тимофеев, Д.Д. Подколзин

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

В докладе рассмотрены результаты разработки программного модуля одновременного построения карт и локализации (SLAM) для мобильного робота. Проведён сравнительный анализ LiDAR- и Visual-SLAM алгоритмов в среде ROS2. Разработано программное обеспечение для калибровки и синхронизации данных лазерного дальномера, инерциального измерительного блока и камеры глубины. Проведено исследование работы модуля в симуляционной среде. Полученные результаты демонстрируют сравнительную эффективность различных сенсорных конфигураций для задач построения трёхмерных карт и позиционирования, чем при использовании отдельных датчиков.

Автономная навигация мобильных роботов в неструктурированных средах требует точного построения карты и локализации. Несмотря на наличие готовых SLAM-решений, их эффективность критически зависит от адаптации под конкретную сенсорную конфигурацию и условия эксплуатации. Особый интерес представляет построение трёхмерных карт, необходимых для учёта вертикальной структуры пространства, но реализация подобного функционала требует подготовки сенсорных данных и контроля вычислительной нагрузки.

В работе решается задача сравнительного анализа и интеграции SLAM-алгоритмов, использующих различные комбинации сенсоров: лидар (Velodyne VLP-16), инерциальный блок (Xsens MTi-G-710) и камера глубины (Intel RealSense D435i). Актуальность работы обусловлена необходимостью создания унифицированного модуля, опти-

мизированного для работы с заданным оборудованием.

В ходе работы были реализованы и протестированы в симуляционной среде Gazebo алгоритмы LIO-SAM (LiDAR-Inertial) и VSLAM (на основе камеры глубины) в рамках программной среды ROS2. Разработан программный модуль синхронизации и фильтрации данных, обеспечивающий согласование показаний разнородных сенсоров. Проведена серия виртуальных экспериментов по построению трёхмерных карт и оценке точности локализации для различных конфигураций алгоритмов.

Проведённое исследование позволяет оценить преимущества и недостатки различных сенсорных конфигураций для задач SLAM. Разработанный модуль представляет основу для создания системы автономной навигации, функционирующей в условиях неопределённости реальной среды.

Программно-аппаратный комплекс тепловизионной дефектометрии бетона в несъёмной стальной опалубке

С.А. Тихомиров¹, П.Д. Арленинов^{1,2}

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет – Москва, Россия;

² НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» – Москва, Россия

Разработанный комплекс неразрушающего обнаружения пустот в железобетонных конструкциях с несъёмной стальной опалубкой на основе теплового метода [1] включает в себя многоканальный сбор данных (тепловизионные последовательности, погружные и поверхностные термодатчики, датчики теплового потока), метеорологический мониторинг, конечно-элементное моделирование кинетики гидратации цемента и решение обратной задачи теплопроводности [2–3]. Основная проблема диагностики – влияние высокотеплопроводной стальной опалубки (5–20 мм) – решается путём применения методик робастной главной компоненты термографии (RPCT) и фазовой импульсной термографии (PPT). Комплекс обеспечивает обнаружение дефектов размером >30 мм на глубине до 100 мм и >100 мм на глубине до 250 мм с точностью локализации ±5–10 мм.

Комплекс состоит из основного оборудования (тепловизор, многоканальный регистратор температуры и теплового потока, метеостанция), системы термического воздействия (инфракрасный нагрев, воздушное или водяное охлаждение), рабочей станции. Процесс гидратации выполнен с переменной энергией активации для портландцемента [4]. Граничные условия синхронизированы с метеоданными. Верификация математической модели выполняется при сравнении расчётных и экспериментальных температур в бездефектных областях тестовых образцов. Валидация на модельных образцах выполнена в натурных условиях с имитацией дефектов бетона. Внедрённые в образец искусственные дефекты обнаружены в полном объёме с контрастом $\Delta T \geq 0,5$ °C.

Список литературы:

1. Арленинов П.Д., Крылов С.Б., Калмакова П.С. Система контроля сплошности бетона сталежелезобетонных конструкций на основе тепловизионного метода // Academia. Архитектура и строительство. – 2024. – № 2. – С. 150–156.
2. Вавилов В.П., Паульс Т.Ю., Абдулхадимов К.З. Инфракрасная тепловизионная диагностика: физические основы и методы измерений. – М.: Логос, 2009. – 544 с.
3. Bagavathiappan, S., Lahiri, B.B., Saravanan, T., Philip, J., Jayakumar, T. Infrared thermography for condition monitoring – a review // Infrared Physics & Technology. – 2013. – Vol. 60. – Pp. 35–55.
4. Schmid, M., Pichler, C., Lackner, R. Engineering hydration model for ordinary Portland cement based on heat flow calorimetry data // Cement and Concrete Research. – 2019. – Vol. 120. – Pp. 1–20.



Разработка и исследование системы навигации автономного мобильного робота с использованием 4D-радара от компании INTEGRANT

Д.Р. Торев, М.Р. Макуха

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

В ходе выполнения работы проведён анализ методов навигации на основе данных, получаемых с радарных датчиков, проанализированы примеры интеграции радарных датчиков в системы навигации мобильных роботов, разработана система повышения плотности радарных облаков точек для улучшения качества навигации, разработано программное обеспечение и проведены экспериментальные исследования с радаром компании INTEGRANT.

В существующих системах навигации мобильных роботов доминируют решения на основе лидаров и камер. Однако эти сенсоры имеют фундаментальные ограничения: лидары чувствительны к осадкам, пыли и загрязнениям, а камеры сильно зависят от уровня освещённости. Это делает системы, использующие только лидары и камеры, уязвимыми и неспособными стабильно работать в сложных погодных условиях и при плохой видимости. Использование радаров позволяет расширить сферу применения мобильных роботов для задач, требующих бесперебойной работы в любых условиях.

В ходе работы была реализована система повышения плотности радарных облаков точек для улучшения качества навигации. Эта система решает важную задачу, поскольку изначально радарное облако точек сильно разрежено. Система состоит из нескольких частей. Облака точек накапливаются, происходит фильтрация облака для устранения ложных точек, полученных в

результате переотражения от поверхностей, для фильтрации точек используются методы как на основе простых ограничений, так и на основе машинного обучения (ML), между точками в облаке достраиваются дополнительные точки. Компоненты такой системы можно применять в произвольном порядке. Это позволяет значительно увеличить плотность радарного облака точек.

Менее разреженное облако точек используется для построения карты и локализации в пространстве (SLAM), детектирования движущихся объектов и их классификации. На основе этих данных система навигации может прокладывать и следовать маршрутам даже в сложных условиях. Для этих задач были использованы уже готовые и проверенные решения.

Система была реализована в виде программного модуля для системы навигации мобильного робота. Проведено экспериментальное исследование использования радара компании INTEGRANT, установленного вне мобильного робота.



Автоматизированное определение временной задержки сигналов излучения при распространении потока плазмы

А.А. Мамонов, К.М. Гуторов, **В.С. Чернышев**, В.Л. Подковыров

АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» – Троицк, Москва, Россия

Разработан алгоритм автоматизированного определения временной задержки сигналов излучения для времяпролетной диагностики распространяющегося потока плазмы, выбрасываемого квазистационарным сильноточным плазменным ускорителем (КСПУ). Использование параллельных вычислений позволяет обрабатывать данные одного пуска менее чем за 20 мс.

В АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» проводятся экспериментальные исследования КСПУ в рамках федерального проекта «Технологии термоядерной энергетики» национального проекта «Новые атомные и энергетические технологии». В работе [1] показано, что скорость плазменного потока КСПУ можно измерять с помощью времяпролетной методики. В экспериментах свечение плазменного потока в различных сечениях вдоль его распространения регистрируется с помощью ФЭУ. Присутствующие в потоке сгустки приводят к увеличению регистрируемого сигнала ФЭУ. Особенности сигналов в двух последовательных каналах позволяют выявлять прохождение сгустков и определять временную задержку, а следовательно, и скорость потока.

Для автоматизированного определения временной задержки между сигналами ФЭУ осциллограммы разбиваются на

окна фиксированной ширины. В каждом окне рассчитывается функция взаимной корреляции сигналов. По пику корреляции определяется временная задержка между сигналами и погрешность её определения. Разработанный алгоритм реализован с использованием параллельных вычислений на видеокарте. Время обработки одного пуска при параллельной реализации алгоритма составляет менее 20 мс для типичных условий эксперимента (длина одной осциллограммы – 100 тыс. точек, количество окон – 193). Быстрая обработка диагностических данных позволит реализовывать каналы обратной связи при работе ускорителя в импульсно-периодическом режиме с частотой до 10 Гц.

Работа выполнена в рамках государственного контракта от 19.05.2025
№ Н.4к.241.09.25.1064.

Список литературы:

1. Yaroshevskaya A.D., et al. Determination of Plasma Flow Velocity with Time Resolution Based on the Doppler Effect // Plasma Physics Reports. – 2024. – Vol. 50. – No 6. – P. 689–696.



Акустическая диагностика стрелкового оружия и анализ внутренней баллистики: комплексный подход на основе машинного обучения

Л.И. Шеманаева

ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева» –
Ковров, Россия

Метод неразрушающего контроля состояния стрелкового оружия и параметров внутренней баллистики на основе анализа акустического сигнала выстрела.

Актуальность и проблематика: существующие методы диагностики стрелкового оружия требуют разборки и визуального осмотра; являются разрушающими и дорогостоящими; отсутствуют оперативные методы неразрушающего контроля в полевых условиях.

Методология: создана многомодальная сенсорная система с тремя каналами регистрации; разработан алгоритм сегментации акустического сигнала на 4 этапа выстрела; реализована многоуровневая система извлечения признаков; применены методы машинного обучения для классификации состояний.

Результаты: достигнута точность обнаружения дефектов до 92 % (износ затворной группы – 92 %, износ ствола – 87 %, очесывание капсюля – 91 %); установлены корреляции между акустическими параметрами и баллистическими характеристиками; разработаны эмпирические формулы для оценки давления в стволе и скорости пули;

погрешность оценки баллистических параметров не превышает 8 %.

Технические преимущества: время диагностики: 2–3 с против 15–30 мин при традиционных методах; стоимость оборудования: 500–1 000 \$ против 5 000–15 000 \$; отсутствие разрушающего воздействия на оружие; возможность применения в полевых условиях.

Практическая значимость: оперативный контроль технического состояния в реальном времени; прогнозирование остаточного ресурса оружия; контроль качества боеприпасов и оптимизация handload-рецептур; повышение безопасности эксплуатации стрелкового оружия

Разработанный метод представляет собой эффективное решение для неразрушающего контроля состояния стрелкового оружия и параметров внутренней баллистики, сочетающее высокую точность с оперативностью и экономической эффективностью.

Список литературы:

1. Smith, J.C. // Acoustic-based fault diagnosis in mechanical systems. Mechanical Systems and Signal Processing, 2020. – No 135, – Pp. 106–124.
2. Johnson, M.K. // Digital signal processing in weapon system diagnostics. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2019. – No 68(5). – Pp. 132–145.
3. Chen, L., & Wang, H. // Machine learning applications in firearm acoustics. Journal of Acoustical Society of America, 2021. – No 149(3) – Pp/ 189–201.



Имитационное тестирование алгоритмов управления с использованием нейросетевых технологий

Д.Э. Шенцов

Московский филиал «Центратомтехэнерго» АО «Атомтехэнерго» – Москва, Россия

В работе представлены результаты исследования имитационного тестирования алгоритмов промышленной автоматики с использованием технологии нейронных сетей. По результатам исследования предложен программно-технический комплекс, позволяющий проводить тестирование алгоритмов управления АСУ ТП автономно от объекта автоматизации.

За последние годы в промышленной автоматике обозначилась тенденция к увеличению объёмов автоматизации технологических процессов различной сложности и назначения. Вслед за увеличением объёма автоматизации сложность алгоритмов управления возрастает, в связи с чем основополагающим критерием безопасного и эффективного функционирования промышленного объекта становится качество ПО АСУ ТП. В процессе ввода в эксплуатацию промышленного объекта с целью проверки полноценности реализованной системы проводят ПНР. Наиболее ответственным и важным этапом для АСУ ТП является этап автономной наладки, подразумевающий проверку средств автоматизации на работоспособность, соответствие технических характеристик, а также подтверждение корректности реализованных алгоритмов АСУ ТП без вывода промышленного объекта в проектные режимы эксплуатации. Зачастую провести автономно от объекта управления полноценную проверку ПО АСУ ТП яв-

ляется нетривиальной задачей ввиду ряда причин. Проверенным решением для исключения воздействия на объект управления с целью проведения автономной наладки является имитационное тестирование [1]. В работе предлагается ПТК, представляющий собой полноценный имитатор технологического объекта управления, повторяющий обратную связь от средств автоматизации, что позволит автономно от средств автоматизации, с достаточной степенью адекватности подтвердить корректность алгоритмов управления, а также избежать аппаратной несовместимости типовых одноканальных имитаторов. Представленное решение наиболее полноценно позволит обеспечить автономную наладку ПО АСУ ТП, помимо этого, уменьшит ресурсные и экономические затраты на проведение ПНР, что, в свою очередь, обеспечит последующую надёжность, безопасность, эффективность введённого в работу промышленного объекта.

Список литературы:

1. Шубаков С.А. Автоматическое тестирование функций управления для системы автоматического управления технологическими процессами ответственного назначения / С.А. Шубаков, А.Н. Новиков // Технологии электромагнитной совместимости. – 2018. – № 4(67). – С. 27–31.



Секция
« Киберфизическое, электрофизическое
и ядерное приборостроение »

Председатель секции –

Юрков Дмитрий Игоревич,

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



Статистический анализ переходных течений в круглой трубе для применения в киберфизических установках

В.А. Березин, Я.И. Листратов

Национальный исследовательский университет «МЭИ» – Москва, Россия

Доклад посвящён исследованию поведения ламинарно-турбулентного перехода в круглой трубе на основе моделирования расчётным кодом методом DNS применительно к анализу данных датчиков в системах диагностики в реальных установках. В докладе представлены результаты моделирования и приведена обработка данных, по которым можно говорить о поведении нестационарного процесса. Данный метод анализа течения может применяться для создания систем диагностики переходных процессов в энергетических и электрофизических установках.

Развитие современных систем диагностики и управления технологическими процессами требует точных методов анализа поведения рабочих сред. Одной из сложных задач является диагностика переходных режимов течения жидкости, характеризующихся высокой нестационарностью и стохастичностью.

Один из способов создания модельных данных для анализа свойств переходного режима является прямое численное моделирование (DNS). В данной работе проведено DNS моделирование переходного течения в круглой трубе на расчётном коде Fortran, разработанном Д. Красновым [1]. Параметры расчёта заданы на основе данных из работы [2]. После наложения возмущений

были получены перемежающиеся структуры. Исследовалась неоднородность структур, и проводился анализ статистических параметров течения, а именно – построение корреляционной функции в пространстве и во времени флуктуаций скорости. Для этого разработан код на Python, который осуществляет визуализацию данных расчёта и статистический анализ параметров течения.

Результаты текущей работы дополняют уже имеющиеся данные перемежающегося течения в круглой трубе [3]. Полученные данные и разработанные алгоритмы их обработки могут быть использованы для верификации и калибровки экспериментальных методов измерений.

Список литературы:

1. Dmitry K., Oleg Z., Thomas B. Comparative study of finite difference approaches in simulation of magnetohydrodynamic turbulence at low magnetic Reynolds number // Computers & Fluids 2011.
2. Никитин Н. Проблема перехода и локализованные турбулентные структуры в трубах // Известия РАН. Механика жидкости и газа, 2021. – № 1. – с. 32–46.
3. В.А. Березин, Я.И. Листратов. Прямое численное моделирование переходных течений в круглой трубе // «Теплофизик 2025»: Сборник тезисов докладов научно-технической конференции. 6–7 мая 2025 г. – М.: Издательство «Перо», 2025. – 35 с. // <http://thermophys.ru/tpost/gv875pckr1-itogi-konferentsii-teplofizik-2025> [Электронное издание].



Современные методы проектирования электронных прямопоказывающих дозиметров смешанных излучений на основе полупроводниковых детекторов

М.А. Васечкин, В.Г. Голубев, В.А. Кишев, А.С. Рейман

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты работы по созданию электронных прямопоказывающих дозиметров ДГБ-01Р и ДГН-01Р для регистрации бета-, гамма- и нейтронного излучений в условиях смешанных полей. Полученные результаты исследований и испытаний подтверждают эффективность и оригинальность разработанных компонентных и схемотехнических решений.

В условиях прекращения поставок зарубежных средств индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) критически важным является создание отечественных устройств ИДК и их компонент. В рамках инициативных НИОКР в АО «СНИИП» была сформирована комплексная проблемно-ориентированная задача, включающая исследование полупроводниковых детекторов, разработку собственных узлов детектирования и создание набора алгоритмических методов коррекции измерительных характеристик для их реализации в электронных прямопоказывающих дозиметрах (ЭПД).

Базисным функциональным элементом ЭПД является полупроводниковый детектор (ППД). Одним из важнейших направлений работы стала минимизация энергетической зависимости чувствительности (ЭЗЧ) ППД. На основе результатов испытаний с эталонными источниками ^{241}Am , ^{37}Cs и ^{60}Co разработан алгоритм снижения ЭЗЧ, обес-

печивающий максимальное относительное отклонение не более 6,8 % в диапазоне мощностей индивидуального эквивалента дозы от 1 мкЗв/ч до 10 Зв/ч.

На основе проведенных исследований созданы первые отечественные экспериментальные образцы бета-гамма-дозиметров, разработан и оптимизирован узел детектирования, готовый к серийному внедрению. Параллельно выполнены проектирование и испытания оригинального варианта нейтрон-гамма-тракта, основанного на использовании конвертирующих материалов с содержанием изотопа ^6Li . Определены оптимальные параметры слоя, обеспечивающие селекцию нейтронных импульсов при сопутствующем гамма-фоне.

Разработан комплект конструкторской документации и программное обеспечение для технического обслуживания дозиметров, что формирует полный цикл импортонезависимой разработки: от детектора и алгоритмов до законченного прибора.



Исследование электростатической антидинатронной системы вакуумной нейтронной трубки

Д.Д. Винокуров, С.Н. Шмелев, Р.И. Бутов, А.К. Дулатов

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

В работе представлены результаты исследования эффективности запираания с помощью антидинатронной сетки вторичных электронов эмиссии с мишени вакуумной нейтронной трубки. В результате моделирования была оценена плотность ионного тока, при которой электростатический метод запираания вторичных электронов уже становится неэффективным.

В ускоряющем промежутке вакуумной нейтронной трубки (ВНТ) протекает ионно-электронный ток, состоящий из ионов дейтерия, ионов циркония и электронов вторичной эмиссии [1, 2] с мишени и антидинатронной сетки. В мощных излучателях нейтронов на основе ВНТ запирающий потенциал подаётся на мишень ВНТ с помощью резистора «смещения» [3]. Подавление электронного тока вторичной эмиссии приводит к снижению ионно-электронного тока трубки, что, в свою очередь, снижает тепловую нагрузку на элементы системы питания ВНТ. Дальнейшее увеличение нейтронного потока мощных излучателей нейтронов на основе ВНТ требует увеличения ионного тока трубки, что, в свою очередь, приводит к росту электронного тока вторичной эмиссии с мишени и необходимости повышения эффективности его запираания.

В работе приведены результаты теоретического расчёта потенциала в ускоряющем промежутке ВНТ с учётом влияния на него объёмного заряда, создаваемого ионным током. Также на основе моделирования пучков заряженных частиц была определена прозрачность антидинатронной сетки. В результате моделирования также было оценено значение плотности ионного тока, при котором электроны перестают задерживаться антидинатронной сеткой.

Полученные результаты можно применить для улучшения системы питания и конструкции ВНТ, позволяющей повысить эффективность запираания вторичных электронов и, как следствие, уменьшить тепловую нагрузку на систему питания излучателя нейтронов.

Список литературы:

1. Н.В. Мамедов. Физические основы генерации ионных пучков в плазменных источниках нейтронных трубок. – М.: Буки Веди, 2021. – 388 с.
2. В.А. Курнаев, Ю.С. Протасов и др. Введение в пучковую электронику. – М.: МИФИ, 2008. – 452 с.
3. В.М. Гулько, А.А. Ключников и др. Ионно-вакуумные приборы для генерации нейтронов в электронной. – Киев: Техника, 1988. – 136 с.



Обработка и разделение сигналов по форме импульса в фосвич-детекторах на базе кремниевых фотоумножителей

В.Г. Голубев, С.Б. Журба, В.А. Кишев, Н.В. Томилин

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В работе рассматриваются методы обработки и разделения сигналов по форме импульса в фосвич-детекторах, использующих кремниевые фотоумножители (SiPM). Применение SiPM позволяет создавать компактные и энергосберегающие детекторные модули с высокой стабильностью и чувствительностью. Исследованы различные комбинации сцинтилляторов для регистрации α -, β - и γ -излучения, а также алгоритмы импульсной дискриминации (PSD), обеспечивающие раздельную идентификацию частиц. Разработан электронный тракт, включающий малошумящий предусилитель, модуль оцифровки и цифровой обработки сигналов. Приведены результаты экспериментального разделения импульсов, демонстрирующие эффективность использования SiPM и PSD при построении современных фосвич-детекторов для задач радиационного контроля.

Фосвич-детекторы на базе кремниевых фотоумножителей (SiPM) представляют собой перспективное решение для компактных и портативных систем радиационного контроля. SiPM обеспечивают высокую чувствительность, малые габариты, низкое напряжение питания и устойчивость к внешним воздействующим факторам, что делает их удобными для построения многослойных детекторов. Фосвич-детекторы основаны на комбинации различных типов сцинтилляторов, каждый из которых обладает специфической чувствительностью к определённому виду излучения. Разделение сигналов осуществляется за счёт различий в амплитуде и форме сцинтилляционных импульсов, что позволяет разделять сигналы от α -, β - и γ -излучений. Для идентификации частиц применяется анализ формы импульса (PSD), превосходящий по

эффективности классические амплитудные методы.

В рамках работы исследованы ZnS(Ag), CaF₂(Eu), NaI(Tl), GAGG(Ce) и пластиковые сцинтилляторы, определено влияние их характеристик на качество импульсной дискриминации. Разработан электронный тракт, включающий малошумящий предусилитель, модуль оцифровки и обработки сигналов, обеспечивающий реализацию алгоритмов PSD при низком энергопотреблении. Экспериментальные результаты подтвердили возможность уверенного разделения сигналов различных типов излучения и продемонстрировали высокую перспективность сочетания SiPM, фосвич-структур и цифровой обработки для создания современных компактных детекторных модулей.



О калибровке по эффективности регистрации гамма-излучения радионуклидов в контролируемых средах спектрометрических устройств из состава спектрометров СЕГ-01Р и СГГ-02Р

М.Д. Дерябина, **Е.Н. Демиденко**

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В условиях ужесточения требований к радиационному контролю при эксплуатации атомных электростанций в АО «СНИИП» разработаны технологические спектрометры СЕГ-01Р и СГГ-02Р. Данные спектрометры предназначены для контроля теплоносителя реакторной установки и выбросов из вентиляционной системы АЭС, соответственно. Спектрометры СЕГ-01Р и СГГ-02Р представляют собой роботизированные измерительные комплексы, решающие задачу непрерывного измерения объёмной активности гамма-излучающих радионуклидов в контролируемых средах. Задача реализации непрерывных измерений объёмной активности с помощью технологических спектрометров решалась по ряду направлений:

- адаптация программного обеспечения;
- разработка методического обеспечения;
- калибровка спектрометрических устройств детектирования в измерительных геометриях.

Работа посвящена определению кривых эффективности регистрации для реализации автоматизированного контроля объёмной активности с помощью технологических спектрометров. Калибровка устройств детектирования по эффективности регистрации гамма-излучения обеспечивает переход от спектра к количественной информации об активности радионуклидов и является ключевым этапом подготовки технических

средств к измерению объёмной активности. Калибровка по эффективности регистрации выполнена для устройств детектирования из состава двухканального спектрометрического тракта: детекторов на базе кристаллов $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ и $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$. Экспериментальные работы по отработке алгоритма калибровки по эффективности регистрации и определению калибровочных кривых проводились в два этапа:

1. Калибровка устройств детектирования по эффективности регистрации гамма-излучения различных энергий с использованием стандартных точечных источников типа ОСГИ;

2. Калибровки устройств детектирования по эффективности регистрации гамма-излучения в реальных геометриях измерений с применением эталонов и источников-имитаторов реальных сред.

Применимость разработанного подхода подтверждена экспериментально при калибровке серии устройств детектирования для применения в составе технологических спектрометров СЕГ-01Р и СГГ-02Р. Таким образом, разработанные алгоритмы позволяют обеспечить определение кривых эффективности регистрации для реализации определения объёмной активности сред в измерительных геометриях для серийно выпускаемых УД.



О проведении расширенных исследований физических свойств сцинтилляционного кристалла йодида стронция в рамках разработки технологических спектрометров СЕГ-01Р и СГГ-02Р

М.Д. Дерябина, Е.Н. Демиденко

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В работе представлены уточнённые результаты исследования характеристик устройств детектирования со сцинтилляционными кристаллами $\text{SrI}_2(\text{Eu})$, применяемых в составе спектрометров технологических сред СЕГ-01Р и СГГ-02Р. Работа посвящена обобщению сведений о физических свойствах кристаллов $\text{SrI}_2(\text{Eu})$, полученных за счёт проведения исследований на обширной выборке детекторов с кристаллами данного типа.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. *Высокое энергетическое разрешение и чувствительность.* Детекторы $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ обеспечивают энергоразрешение $\sim 3\%$ по ^{137}Cs и обладают высоким световыходом (~ 90 тыс. фот/МэВ) и эффективностью регистрации γ -излучения, превосходящей таковую у аналогичных по габаритам детекторов $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$. Кристалл $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ не содержит собственных радионуклидов и имеет крайне низкий фоновый отсчёт, что делает его отличным выбором для спектрометрии слабых источников излучения и низких уровней активности;

2. *Ограничения и особенности.* Недостатки $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ включают замедленную кинетику свечения (в ~ 30 раз медленнее LaBr_3), что накладывает ограничения на максимальный поток счётных событий (не более ~ 10 тыс. имп./с с незначительной потерей разрешения). Кроме того, обнаружена существенная температурная нестабильность: при изменении температуры окружающей среды характеристики детектора на базе $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ заметно изменяются. Это требует применения специальных

мер – термостабилизации (аппаратной или программной коррекции усиления) и учёта температурных поправок при калибровке по энергии и эффективности. Также установлено, что алгоритмы спектрального анализа (выделение пиков, идентификация изотопов) должны быть адаптированы под сцинтиллятор $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ ввиду наблюдаемой асимметрии формы фотопиков;

3. *Разброс характеристик.* Выявлена значительная изменчивость параметров среди разных образцов $\text{SrI}_2(\text{Eu})$. Разброс оптимальных настроек, световыхода, эффективности и даже формы спектральных откликов означает, что для каждой сцинтилляционной сборки на $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ необходимо проводить расширенную индивидуальную настройку и калибровку. Данный вывод согласуется с другими источниками и объясняется сложностью технологии получения кристаллов $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ стабильно высокого качества. Повышение однородности возможно за счёт совершенствования технологии выращивания и отбора кристаллов, а также путём модернизации электронных трактов (например, введения адаптивных режимов под конкретный экземпляр сцинтиллятора).



Исследование зависимости тока в ускоряющем промежутке вакуумной нейтронной трубки от характеристик разрядного тока в источнике ионов

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

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

В работе представлены исследования зависимости тока в ускоряющем промежутке вакуумной нейтронной трубки (ВНТ) от характеристик тока в источнике ионов (ИИ). Поскольку нейтронный выход во многом зависит от тока в ускоряющем промежутке ВНТ, полученную зависимость можно применить для оценки нейтронного выхода излучателей нейтронов.

В ВНТ ионы дейтерия эмитируются с границы плазмы, образованной в ИИ в результате горения вакуумной дуги, и ускоряются до мишени, насыщенной тритием. В мишени происходит ядерная реакция дейтерия с тритием с образованием нейтронов. Ток дуги ИИ, имеющий форму свободных колебаний, формируется за счёт разряда накопительной ёмкости через вакуумный промежуток.

В работе измерялся ток в ускоряющем промежутке ВНТ при постоянном напряжении, от которого в значительной степени зависит нейтронный выход. Ток в ускоряющем промежутке ВНТ зависит от параметров системы питания ионного источника [1] и, со-

ответственно, характеристик тока разряда в ИИ. В связи с этим в работе исследовалась зависимость тока в ускоряющем промежутке ВНТ от характеристик (амплитуда, перенесённый заряд) импульса тока ИИ. В работе подтверждено, что основной вклад в ток в ускоряющем промежутке ВНТ вносит первая полуволна тока ИИ, что согласуется с экспериментальными данными, полученными в ходе испытаний ВНТ при импульсном ускоряющем напряжении около 2 мкс (рабочий режим работы ВНТ).

Результаты исследования могут быть применены при оценке нейтронного выхода излучателей нейтронов.

Список литературы:

1. С.П. Масленников, И.М. Мамедов. Повышение стабильности работы ионного источника вакуумной нейтронной трубки // Атомная энергия. – Т. 135. – Вып. 1–2. – 2023.



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

В.Б. Еремин, Ю.А. Пятаков

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

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

Проведение испытаний в лабораторных условиях предполагает минимальность габаритов уловителя. Однако для большинства лабораторных стендов стоит задача обеспечения компактности уловителя и минимума уровня перегрузки торможения объекта испытаний.

В работе приведено расчётно-экспериментальное обоснование способа и устройства, его реализующего, по снижению уровня перегрузки торможения объекта испытаний при спасении на ударном стенде за счёт

специальной конструкции уловителя, обеспечивающего квазистатический характер изменения уровня перегрузки торможения.

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



Определение n/γ -соотношения для источника нейтронов в двухканальной системе измерения

С.Б. Журба, В.А. Кишев, И.В. Мосягина, А.С. Гордеев

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты разработки экспериментальной установки и ПО для определения n/γ -соотношения для различных нейтронных источников. Реализован алгоритм математического разделения в двухканальной системе измерения. Показана принципиальная возможность оперативного определения типа нейтронного источника.

Определение соотношения нейтронного и гамма-излучения (n/γ) в источниках нейтронов является актуальной задачей, поскольку оно влияет на характеристики нейтронных источников и эффективность нейтронных исследований. Различные нейтронные источники имеют разное n/γ -соотношение, на основе которого возможно идентифицировать тип источника. Более того, высокая загрузка детектора нейтронов маскирует регистрацию нейтронных совпадений, затрудняя обнаружение делящегося материала. Предложенный в работе метод обеспечивает возможность обнаружения специальных ядерных материалов.

Для отделения сигналов нейтронного и гамма-излучения используется технология PSD (*Pulse Shape Discrimination*), основанная на различии формы импульсов полученных сигналов. В работе показана принципиальная возможность реализации двухканальной системы измерения, разделяющая информацию математическим методом без физического разделения. Такой метод позволяет создать компактную и мобильную систему регистрации.

Основными составляющими экспериментального стенда являются спектрометри-

ческая установка на базе ФЭУ Hamamatsu и диджитайзер CAEN 5730sb с частотой дискретизации 500 МГц. Для разделения сигналов применяются сцинтилляционные детекторы с составными фосфорами. Для калибровки детектора используются образцовые источники гамма-излучения. В качестве источников нейтронов используются $\text{PuBe}(\alpha, n)$ -источники на основе различных изотопов плутония, а также ^{252}Cf .

Математическое описание метода разделения реализовано в виде программного кода языка python. Разработанное ПО позволяет получать информацию о форме импульса на выходе ФЭУ и разделять импульсы по каналам нейтронного и гамма-излучения. С учётом калибровки детектора возможно определение n/γ -соотношения для выбранного источника.

На основе полученных данных возможна однозначная идентификация источника нейтронов в режиме оперативного контроля, определение n/γ -соотношения для него. Планируется внедрение разработанного алгоритма в блок детектирования нового поколения.



Исследование работы трубки инерциального электростатического удержания плазмы

Е.Д. Зяблицева, И.А. Прокуратов, И.В. Ильичев, А.Г. Садилкин,
Б.Д. Лемешко, Ю.В. Михайлов

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

Проведены экспериментальные исследования работы нейтронной трубки инерциального электростатического удержания плазмы (ИЭУП) отпаянной конструкции. Исследования проведены с целью определения возможности стабильной генерации нейтронного излучения в течение длительного времени непрерывной работы.

Системы на основе ИЭУП являются источниками непрерывного нейтронного излучения. Основными параметрами, влияющими на уровень генерируемого нейтронного потока, являются ионный ток разряда, ускоряющее напряжение на катоде, давление рабочего газа в системе, геометрия электродов и их температура. Большинство исследуемых в мире систем ИЭУП представляют собой откачные конструкции с цилиндрической или сферической геометрией анода и катода. Особый интерес представляют собой системы ИЭУП отпаянной конструкции, так как они более просты в эксплуатации и не требуют применения вакуумных систем откачки и наполнения рабочим газом. Кроме того, такие системы

позволяют осуществлять безопасную работу с использованием трития. Во ВНИИА разработана трубка ИЭУП, состоящая из системы цилиндрических электродов, что позволяет эффективно вытягивать ионы из ионных источников и ускорять их в сторону катода для реализации реакций ядерного синтеза.

В работе исследована работа отдельных узлов трубки ИЭУП. Получена экспериментальная зависимость генерируемого потока нейтронов с энергией 14 МэВ от различных параметров напряжения на отдельные узлы трубки и давления газа в ней. В проведённых испытаниях трубки длительностью ~100 ч достигнута стабильная генерация нейтронного потока на уровне $5 \cdot 10^7$ нейтр./с.



Измерение импульсного нейтронного излучения низкой интенсивности с помощью активационной методики

Р.Ф. Ибрагимов, А.П. Денисенко, Е.В. Рябева, М.Ю. Мишин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Представлены результаты разработки экспериментального образца прибора, предназначенного для измерения низкоинтенсивного нейтронного излучения импульсных источников излучения активационным методом. Описана процедура физико-математического моделирования блока регистрации, в том числе обоснование конструкции замедлителя и конфигурации счётчиков вторичного излучения. Моделирование прибора проводилось с использованием инструментов пакета библиотек Geant4.

Рассмотрена возможность применения схемы антисовпадений для подавления космического фона, а также сопутствующего гамма-излучения. Приведены результаты расчёта чувствительности прибора для регистрации импульсного нейтронного излучения с энергиями 2,5 и 14 МэВ в диапазоне значений выхода нейтронов от 10^3 до 10^6 нейтр./имп.

Совершенствование существующих методов регистрации нейтронного излучения остаётся актуальной научно-технической задачей. В качестве основного метода регистрации импульсного нейтронного излучения в работе рассматривается применение активационного детектора с индием природного изотопного состава [1, 2]. С целью увеличения чувствительности прибора для регистрации низкоинтенсивных нейтронных импульсов рассматривается увеличение площади активируемого материала и, соответственно, площади детекторов вторичного излучения. Увеличение площади чувствительной части детекторов может негативно сказываться на росте фоновой за-

грузки, которая при низких интенсивностях целевого излучения может оказывать подавляющий вклад в значение неопределённости результатов измерения. Для снижения вклада от фоновое излучения предполагается применение схемы антисовпадений с использованием набора сцинтилляционных детекторов на основе органической пластмассы.

Результаты физико-математического моделирования позволяют говорить о потенциальной возможности регистрировать с помощью разрабатываемого прибора нейтронные импульсы с выходом до 10^3 нейтр./имп. с погрешностью до 20%.

Список литературы:

1. Britvich G.I. et al. // Activation detector of pulsed neutron radiation // IHEP Protvino – 2015 – P. 13.
2. A. Pietropaolo et al. // Neutron detection techniques from μeV to GeV // Physics Reports. – 2020. – V. 875. – P. 1–65.



Нейтрон-нейтронные методы дистанционного контроля с использованием меченых нейтронов

М.Д. Каретников

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

В настоящей работе рассмотрены нейтрон-нейтронные методы для дистанционного определения химического состава исследуемых объектов, перспективы их реализации и технические ограничения этих методов. Обсуждается их использование для фундаментальных задач ядерной физики.

Ключевым элементом для реализации метода меченых нейтронов (ММН) является нейтронный генератор с встроенным позиционно-чувствительным детектором альфа-частиц, позволяющим определять время и направление вылета 14 МэВ нейтрона, рождающегося вместе с альфа-частицей в реакции синтеза. Большинство времяпролётных методов дистанционного контроля с использованием меченых нейтронов основаны на совместной регистрации гамма-квантов, возникающих при неупругом рассеянии меченых нейтронов, и сопутствующих нейтронам альфа-частицам. Спектр гамма-излучения является характеристическим и позволяет идентифицировать ядра с которыми взаимодействуют нейтроны. Рассеянные меченые нейтроны также несут информацию о ядре-рассеивателе, поскольку при однократном акте рассеяния энергия нейтрона зависит от угла рассеяния θ как

$$E_n = \left(\frac{a}{2} \cos \theta + \frac{1}{2} \sqrt{a^2 \cos^2 \theta + 4b} \right)^2,$$

$$\text{где } a = \frac{2}{M+1} \sqrt{E}, \quad b = \frac{M-1}{M+1} E - \frac{M}{M+1} U,$$

M – отношение массы ядра и нейтрона, U – энергия возбуждения ($U > 0$ при неупругом рассеянии и $U = 0$ при упругом).

Таким образом, измеряя энергию нейтрона под разными углами θ относительно направления меченых нейтронов, можно определять массу и энергию возбуждения ядра рассеивателя. Кроме того, важную информацию о структуре объекта дают нейтроны, прошедшие через объект без рассеяния.

В настоящей работе представлены нейтрон-нейтронные методы на основе меченых нейтронов для определения содержания лёгких химических элементов в составе зондируемых объектов, включая методы однократного упругого и неупругого рассеяния, двойного упругого рассеяния, а также метод корреляционного анализа для поиска делящихся веществ. Рассмотрены требования к информационно-измерительным системам для реализации этих методов. Также обсуждаются использование нейтрон-нейтронных методов на основе меченых нейтронов для фундаментальных задач ядерной физики, таких как определение дифференциального сечения рассеяния нейтронов и уровней возбуждения ядер.



Варианты применения клина и призмы Рисли в схемах лазерной коммутации вакуумных разрядников

А.Ф. Коваленко

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

Рассмотрены варианты использования в оптических схемах лазерной коммутации вакуумных разрядников клина и призмы Рисли, позволяющих существенно увеличить ресурс работы разрядника вследствие уменьшения деградации поверхности катода под действием лазерного излучения.

В настоящее время в различных электрофизических установках находят широкое применение малогабаритные вакуумные разрядники с управлением лазерным излучением. При воздействии лазерного излучения средней плотности мощности $\sim 10^6 - 10^9$ Вт/см² [1] происходит испарение материала катода и на его поверхности формируется кратер, глубина которого будет зависеть от плотности мощности лазерного излучения и от количества срабатываний разрядника. Для предотвращения отрицательного влияния образовавшегося кратера на характеристики разрядника необходимо сменить место фокусировки лазерного излучения в фокальной плоскости линзы. С этой целью перед фокусирующей линзой устанавливают вращающийся клин или призму Рисли. Получены аналитические соотношения, связывающие диаметр лазерного пучка в фокальной плоскости линзы, количество

возможных точек фокусировки лазерного излучения на катоде, диаметр окружности, на которой располагаются точки фокусировки лазерного излучения, диаметр отверстия в аноде, фокусное расстояние линзы и характеристики оптического клина.

При применении клина возможно размещение нескольких точек фокусировки на одной окружности, диаметр которой зависит от фокусного расстояния линзы, расходимости лазерного излучения и количества точек фокусировки. При использовании призмы Рисли существует множество вариантов распределения точек фокусировки лазерного излучения на поверхности катода, ограниченное расходимостью лазерного излучения и диаметром отверстия в катоде. Предложенные схемы могут быть использованы также при лазерной обработке материалов [2].

Список литературы:

1. Давыдов С.Г., Долгов А.Н., Каторов А.С., Ревазов В.О., Якубов Р.Х. Особенности инициирования разряда в вакуумном промежутке излучением ИК-диапазона // Прикладная физика. – 2021. – № 2. – С. 30–36.
2. Коваленко А.Ф. Импульсное лазерное пробитие отверстий в керамических деталях // Стекло и керамика. – 2021. – № 6. – С. 43–47.



Модель генератора ИНГ-27 для анализа влияния геометрических факторов на профиль меченых нейтронов

А.С. Колесников, В.С. Федулов, С.В. Колесников, И.С. Левцов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Первые эксперименты на стенде «Профилометр» по исследованию профиля пучка меченых нейтронов генератора ИНГ-27 позволили получить пространственное распределение для центрального альфа-пикселя. Анализ выявил неочевидные особенности профиля: асимметрию, смещение центра и наклон. Для интерпретации результатов разработана математическая модель установки, включающая мишень, матрицу альфа-детекторов и многопиксельный нейтронный детектор. Моделирование показало, что наблюдаемые артефакты объясняются геометрическими факторами: смещением и наклоном мишени относительно пучка дейтонов, а также его конечным размером.

Проведены первые эксперименты по исследованию пространственного распределения пучка меченых нейтронов от генератора ИНГ-27 на измерительном стенде «Профилометр». В ходе экспериментов получен профиль интенсивности нейтронного пучка, соответствующий центральному альфа-пикселю. Анализ экспериментальных данных выявил ряд особенностей профиля, требующих объяснения: выраженную асимметрию формы, статистически значимое смещение центра распределения относительно геометрической оси установки и нерезкие границы профиля.

Для интерпретации наблюдаемых эффектов разработана математическая модель экспериментальной установки. Модель включает геометрическое описание ключевых компонентов: мишени генератора, матрицы альфа-детекторов (3×3) и многопиксельного нейтронного детектора (6×6). Учтены точное позиционирование элемен-

тов, их взаимное расположение и основные конструктивные параметры.

Проведённое моделирование показало, что наблюдаемые особенности профиля обусловлены геометрическими факторами. Смещение центра распределения объясняется несовпадением центра мишени с номинальной осью установки. Асимметрия и наклон профиля связаны с отклонением плоскости мишени на 45° от перпендикулярности к пучку дейтонов. Нерезкие границы профиля определяются конечным размером пучка дейтонов.

Разработанная модель демонстрирует количественное согласие с экспериментальными данными и подтверждает, что основные искажения профиля имеют геометрическую природу. Модель является эффективным инструментом для интерпретации результатов измерений и может быть использована для планирования последующих экспериментов.



К вопросу увеличения эмиссионной способности источника ионов Пеннинга

А.Е. Колобов, С.В. Сыромук

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

Описана новая конструкция источника ионов Пеннинга, которая позволяет увеличить извлекаемый ток. Представлены результаты измерений токов на катод, антикатод и извлекаемого тока на коллекторе. Описан способ увеличения эмиссионной способности источника ионов Пеннинга.

Извлекаемый ток из источника ионов Пеннинга [1] зависит от величины ионного тока на антикатоде. Однако в предыдущих исследованиях [2–4] измерялся только общий разрядный ток. Исследование, направленное на увеличение тока на антикатоде, стало возможным благодаря впервые созданной конструкции ионного источника с разрядом в скрещённых $E \times H$ полях. Её отличительной чертой является изолированные от корпуса катод и антикатод. Такое исполнение позволило независимо наблюдать токи на катоде и антикатоде при различных конфигурациях магнитного поля в газоразрядной камере источника.

Представлены зависимости токов на катоде, антикатоде и извлекаемого тока на

коллекторе от анодного напряжения. При определённых конфигурациях магнитного поля и давлений на антикатоде был зарегистрирован отрицательный ток. Для определения причин, связанных с этим явлением, было проведено компьютерное моделирование распределений магнитных полей в источнике. В результате удалось определить ширину «виртуального катода».

Ограничение извлекаемого тока, связанное с образованием «виртуального катода», может быть снято созданием напряжения между катодами. В результате плазма разряда становится эмиттером ионов к отрицательному катоду. Данное явление позволило увеличить эмиссионную способность источника ионов более чем на 30 %.

Список литературы:

1. V.V. Zhurin. Industrial Ion Source // Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA. 2012.
2. Н.В. Мамедов, С.П. Масленников и др. // Физика плазмы. – 2020. – № 1. – С. 1–14.
3. S.M. Mahmoud, A.M. Abdel Reheem, et al. // Plas. Chem. And Plas. Proc. 2021. P. 1535
4. A. Zhang, D. Li, et al. // Phys. Rev. Accel. and Beams. – 2022. – № 25.



Мультиферроидные композиты для киберфизических систем: особенности процессов активации диэлектрической и магнитной подсистем

Д.В. Кузенко

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

Для мультиферроидных композитов, состоящих из сегнетоэлектрической и ферромагнитной (феррита) компонент, которые являются перспективными материалами для киберфизических систем, проведён анализ температурных зависимостей диэлектрической и магнитной проницаемостей и петель сегнетоэлектрического и магнитного гистерезиса. Из этого вычислены значения энергий активации проницаемостей и критических энергий взаимодействия сегнетоэлектрических и магнитных доменов с электрическим и магнитным полем. Это позволило определить особенности процессов активации диэлектрической и магнитной подсистем, а также предельно допустимые значения электрического и магнитного поля при практическом применении магнитоэлектрического композита в составе киберфизической системы.

Для создания киберфизических систем, включающих датчики, исполнительные механизмы и информационные системы, необходимо объединить в одном функциональном материале различные физические явления. Для этого возможно использовать, например, мультиферроики – материалы, в которых одновременно присутствуют несколько типов упорядочения: ферромагнитное, сегнетоэлектрическое и сегнетоэластичное и которые имеют перспективу использования в качестве датчиков магнитного и электрического полей, а также в спинтронике как датчики туннельного магнитосопротивления.

Т. к. однофазные сегнетомагнетики имеют низкое значение магнитоэлектрического эффекта ($\alpha < 20 \text{ мВ} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{Э}^{-1}$), то на практике используют композиты, содержащие сег-

нетоэлектрик и ферромагнетик (феррит) с высокими значениями диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемостей: $\alpha < (\epsilon \cdot \mu)^{1/2}$.

Основываясь на экспериментальных данных и результатах работ [1, 2], получены температурные зависимости энергии активации диэлектрической проницаемости $U_\epsilon(T)$ сегнетоэлектрика BaTiO_3 , феррита CoFe_2O_4 , композитов $\text{BaTiO}_3\text{--CoFe}_2\text{O}_4$; температурные зависимости энергии активации диэлектрической $U_\epsilon(T)$ и магнитной $U_\mu(T)$ проницаемостей ферритов $\text{Ni}_{0,32}\text{Zn}_{0,68}\text{Fe}_2\text{O}_4$ и $\text{Mn}_{0,602}\text{Zn}_{0,274}\text{Fe}_{0,124}\text{Fe}_2\text{O}_4$, а также значения критических электрического $E_{\text{кр}}$ и магнитного $H_{\text{кр}}$ полей, соответствующих критическим энергиям $W_{\text{кр}}^E$ и $W_{\text{кр}}^H$ взаимодействия сегнетоэлектрических и магнитных доменов с электрическим и магнитным полем, соответственно.

Список литературы:

1. Д.В. Кузенко. Известия РАН. Серия физическая. – 2024. – Т. 88. – № 5. – С. 740–746.
2. Д.В. Кузенко. Конденсированные среды и межфазные границы. – 2025. – Т. 27. – № 2. – С. 251–259.



Работа по созданию конкурентоспособных отечественных решений для автоматизированного комплекса индивидуальной дозиметрии

А.Р. Кузнецов, И.В. Мосягина

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты разработки и исследования термолюминесцентных детекторов и специализированного программного обеспечения, обеспечивающего интеллектуальную обработку термолюминесцентных данных. Реализованы алгоритмы сглаживания кривых, аппроксимации фоновой компоненты и расчёта дозиметрических величин, что повышает точность измерений и расширяет диапазон регистрируемых доз. Эксперименты подтвердили высокий потенциал отечественных ТЛД, включая регистрацию доз от $5 \cdot 10^{-5}$ до 20 Зв и энергетическую зависимость при облучении источниками ^{137}Cs , ^{60}Co и ^{241}Am в пределах 25 %. Результаты подтверждают возможность создания конкурентоспособного отечественного автоматизированного комплекса индивидуального дозиметрического контроля.

Одним из ключевых направлений в решении задачи по разработке полностью локализованного автоматизированного комплекса индивидуальной дозиметрии (АКИД) является создание технологий термолюминесцентных детекторов (ТЛД) с улучшенными характеристиками и создание для них высокоэффективных программно-аппаратных комплексов. В ходе исследования разработано программное обеспечение, обеспечивающее автоматизацию полного цикла обработки термолюминесцентных данных от первичного считывания сигнала до формирования итоговых дозиметрических величин. Реализованы алгоритмы сглаживания термолюминесцентных кривых, экспоненциальной аппроксимации фоновой компоненты и вычисления ключевых дозиметрических параметров, что позволило существенно повысить точность и воспроизводимость результатов.

Экспериментальные исследования подтвердили высокий метрологический потенциал разрабатываемых отечественных детекторов. Выполнены сравнительные исследования различных детекторов (на основе $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$, $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$). Подтверждена линейная зависимость чувствительности ТЛД на основе бората магния во всём исследуемом диапазоне (от 10^{-5} до 20 Зв), выявлена невозможность дальнейшего использования детекторов на основе $\text{LiF}:\text{Mg,Ti}$ после облучения 2 Зв и более.

Выполненная работа подтверждает эффективность разработанных технологических, конструкционных и схемотехнических решений и является базисом для дальнейшего создания отечественного АКИД с отличительными функциональными характеристиками, потоковым считыванием и обработкой дозиметров.



Повышение качества разработки электронных функциональных узлов и конструкторской документации

А.К. Ситалиев, Д.Д. Ларионов

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В данном докладе рассмотрены особенности разработки электронных функциональных узлов и подготовки конструкторской документации (КД) на печатные платы и функциональные узлы. Представлены подходы к повышению качества и унификации конструкторской документации.

Проектирование печатных плат и электронных функциональных узлов предполагает соблюдение требований к структуре слоёв, посадочным местам, материалам и покрытиям. Согласованность электрических, конструктивных и технологических решений обеспечивает устойчивость характеристик и их воспроизводимость при производстве. В отраслевой практике характерные несоответствия в КД на печатные платы и функциональные узлы связаны, прежде всего, с геометрическими параметрами посадочных мест, требованиями к покрытиям и формулировкой технических требований чертежей.

Для повышения качества документации на предприятии разработан и согласован

эталонный комплект КД на печатные платы и функциональные узлы. В качестве возможного направления развития рассматривается использование общих библиотек электрорадиоэлементов, что способствует сокращению времени проектирования и повышению согласованности проектных решений.

Перспективные направления развития включают расширение унифицированных документов, автоматизацию подготовки извещений, внедрение адаптивных маршрутов согласования и интеграцию CAD-систем с архивными и производственными информационными средами.



Автоматизированный измерительный комплекс для диагностики углового распределения потока меченых нейтронов генератора ИНГ-27

И.С. Левцов, С.В. Колесников, Е.Э. Лупарь, М.Ю. Мишин,
Н.В. Бойко, А.С. Колесников, В.С. Федулов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

Разработан автоматизированный измерительный комплекс для диагностики пространственного распределения потока меченых нейтронов, и проведены пробные измерения профиля потока меченых нейтронов для центрального пикселя альфа-детектора нейтронного генератора ИНГ-27.

Нейтронные генераторы на основе реакции синтеза (d,t), производящие меченые нейтроны, находят широкое применение в ядерной физике. Ключевой характеристикой, определяющей возможности применения генератора, является пространственное распределение потока нейтронов. Для генератора ИНГ-27 данное распределение априори известно с недостаточной точностью из-за диверсии положения и плотности ионного пучка на мишени, что требует его экспериментальной верификации. Целью данной работы являлась разработка и создание автоматизированного измерительного комплекса, позволяющего с высокой точностью сканировать по сечению поток меченых нейтронов и измерять его пространственный профиль.

Регистрация быстрых нейтронов осуществляется матричным детектором, состоящим из 36 независимых сцинтилляционных детекторов. Каждый детектор представляет собой полистирольный сцинтиллятор ($7 \times 7 \times 15$ мм) с диффузным отражателем, оптически сопряжённый с кремниевым фотоумножителем (SiPM).

Перемещение матричного детектора осуществляется с помощью 3-х координатного позиционирующего стенда с точностью позиционирования в 0,5 мм. За основу системы позиционирования были взяты технологии для построения ЧПУ станков.

Работа комплекса была протестирована на генераторе ИНГ-27, в котором установлен 9-ти пиксельный альфа-детектор. Нейтронный поток нейтронного генератора составил 4×10^7 нейтр./с. Детектор располагался на расстоянии 498 мм от торца генератора. Обработка данных измерений (49 точек в сечении пучка и 4 фоновые точки) позволила построить карту пространственного распределения плотности потока меченых нейтронов для центрального пикселя альфа-детектора.

Предварительные результаты показали, что центр смещён по вертикали вверх на $0,026 \pm 0,008$ радиан. Результаты измерений показали, что ширина профиля меченого нейтронного пучка на полувысоте составляет 87 ± 6 мм ($0,174 \pm 0,013$ рад).



Следующее поколение ядерно-физических приборов для исследования различных объектов Солнечной системы

М.Л. Литвак¹, В.И. Зверев², И.Г. Митрофанов¹, Д.И. Юрков²

¹ Институт космических исследований РАН – Москва, Россия;

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

Летом 2025 года был принят беспрецедентный по объёму средств национальный проект «Развитие космической деятельности Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», в рамках которого были сформированы несколько важных направлений развития. В том числе это Федеральный проект «Космическая наука», предложенный и разработанный Российской академией наук. Этот амбициозный проект направлен на исследование Солнечной системы, дальнего космоса и подготовку деятельности человека за пределами околоземной орбиты. Отдельный сегмент этого проекта посвящён российской лунной программе, которая начинается с исследования Луны автоматическими станциями: орбитальный аппарат «Луна–26» и посадочные аппараты «Луна–27.1» и «Луна–27.2», прилунение которых планируется на южный и северный полюсы Луны в 2029 и 2030 годах. За ними последуют посадочная миссия «Луна–28» и орбитальная «Луна–29».

Сейчас в ИКИ РАН в тесной кооперации с ВНИИА разрабатывается активная гамма-спектрометрическая аппаратура

АДРОН-ЛР (в состав которой входит нейтронный генератор), предназначенная для поиска водяного льда и исследования состава полярного вещества Луны на местах посадки посадочных аппаратов «Луна–27.1» и «Луна–27.2».

В 2026 году стартует эскизный проект, посвящённый облику посадочной миссии «Луна–28». В её состав будет включён луноход с перспективной научной аппаратурой, а в качестве одной его научных задач рассматривается проведение элементов геологоразведки на лунных полюсах. Одним из научных приборов может стать гамма-спектрометр, использующий в своём составе нейтронный генератор с функцией меченых нейтронов. Адаптация подобной технологии для космического эксперимента даст возможность качественно улучшить отношение сигнал/шум и построить 3D-модель планетного вещества вдоль трассы лунохода. Кроме этого, подобная научная аппаратура может применяться и в российской посадочной миссии «Венера-Д», также включённой в ФП «Космическая наука» в качестве одного из важных приоритетов.



Исследование процессов формирования ионных потоков в газонаполненной нейтронной трубке

И.М. Мамедов¹, Н.Р. Лаур¹, С.П. Масленников^{1,2}

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

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

В работе представлены результаты исследований процессов формирования ионных потоков в газонаполненной нейтронной трубке с ионным источником Пеннинга с различной геометрией разрядной ячейки. По результатам исследований получены пространственные и энергетические распределения ионных потоков, а также зависимости тока разряда и экстрагируемого тока от давления газа.

Портативные нейтронные генераторы с излучателями на основе газонаполненных нейтронных трубок применяются в фундаментальной ядерной физике, медицине, промышленной радиографии, в системах безопасности для обнаружения опасных веществ и предметов в объектах досмотра, для контроля качества материалов [1–3]. Основными элементами нейтронных трубок являются размещённые в герметичном корпусе источник ионов, ионно-оптическая система и мишень. Извлекаемые из источника ионы ускоряются до энергии порядка 80–100 кэВ и бомбардируют мишень, где в результате ядерных реакции (DD, DT) происходит генерация нейтронов. Коэффициент экстракции ионов из источника зависит

от режима горения разряда, структуры и геометрии разрядной ячейки, напряжения на аноде, параметров магнитного поля, давления рабочего газа [4].

В данной работе экспериментально определены параметры разрядного и экстрагируемого тока, пространственное и энергетическое распределение экстрагируемых ионных потоков для ионных источников с разной геометрией разрядных ячеек. Полученные результаты показали, что при использовании в составе газонаполненной нейтронной трубки источника ионов с увеличенным объёмом разрядной ячейки создавались условия для увеличения экстрагируемого тока и повышения коэффициента экстракции в 2 раза.

Список литературы:

1. С.В. Сыромуков, Р.В. Добров и др. // Атомная энергия, 2014. – Т. 117. – Вып. 6. – С.350–352.
2. Д.В. Головин, М.И. Мокроусов и др. // Астрон. вестник, 2021. – Т. 55. – Вып. 6. – С. 542–549.
3. Р.С. Рачков, А.Ю. Пресняков и др. // Атомная энергия, 2019. – Т. 126. – Вып. 6. – С.334–337.
4. N.R. Laur, N.V. Mamedov et al. // Bull. Rus. Acad. Sc. Phys, 2025. – V. 89. – № 9. – P. 1521–1531.



Управление подачей газа при работе импульсного клапана в импульсно-периодическом режиме

А.А. Мамонов, К.М. Гуторов, В.С. Чернышев, В.Л. Подковыров

АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» – Троицк, Москва, Россия

Разработан алгоритм управления подачей рабочего газа в плазменный ускоритель для работы в импульсно-периодическом режиме. Система определяет массовый расход при импульсном напуске газа с длительностью менее 2 мс и восстанавливает давление в буферном объёме последовательностью кратковременных напусков из подающей линии за время менее 100 мс.

В АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» проводятся экспериментальные исследования квазистационарного сильноточного плазменного ускорителя (КСПУ) в рамках федерального проекта «Технологии термоядерной энергетики» национального проекта «Новые атомные и энергетические технологии». Работа КСПУ с коротким напуском газа позволяет экономно использовать рабочий газ, а автоматическое регулирование необходимо в импульсно-периодическом режиме для поддержания стабильных параметров в каждом пуске.

Система включает в себя импульсный клапан, непосредственно подающий газ в межэлектродный промежуток ускорителя, и буферный объём, отсекаемый от линии подачи газа регулирующим клапаном. Цикл регулирования давления в буферном объёме выполняется в несколько этапов. Вначале

фиксируется падение давления в объёме после импульсной подачи газа в ускоритель и определяется расход газа за импульс. Далее выполняется калибровочный напуск регулирующим клапаном длительностью менее 10 мс и определяется коэффициент пропорциональности между длительностью импульса и приращением давления в объёме. После этого выполняется основной напуск с длительностью, рассчитанной из коэффициента пропорциональности. Полное время регулирования давления в буферном объёме – менее 100 мс, что позволяет работать в импульсно-периодическом режиме с частотой до 10 Гц.

Работа выполнена в рамках государственного контракта от 19.05.2025 № Н.4к.241.09.25.1064.



Результаты ядерно-физического эксперимента Динамическое Альbedo Нейтронов на борту марсохода НАСА «Кьюриосити»

И.Г. Митрофанов¹, Д.И. Лисов¹, М.Л. Литвак¹, Д.И. Юрков²

¹ Институт космических исследований РАН – Москва, Россия;

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

Марсоход НАСА «Кьюриосити» совершил посадку в экваториальном кратере Гейл 6 августа 2012 года. Научная аппаратура, установленная на марсоходе, предназначена для проведения широкого спектра исследований, связанных с геологией/геохимией поверхности, изучением эволюции Марса, мониторингом радиационной обстановки. Но основной задачей является обнаружение любых признаков/особенностей, которые могут быть связаны с биологическими процессами. Возраст кратера Гейла составляет 3,8 миллиарда лет, что позволяет изучить раннюю эпоху эволюции Марса, когда внутри кратера находилось озеро и накапливались осадочные отложения, по которым можно установить, была ли природная среда раннего Марса благоприятной для возникновения примитивных форм жизни.

Важную роль для решения этой задачи представляет определение содержания связанной воды в толще осадочных отложений и отождествление минералов, входящих в их состав. Для этого в состав марсохода была включена российская научная аппаратура Динамическое Альbedo Нейтронов (ДАН). Она состоит из двух отдельных блоков: блока электроники и нейтронных детекторов ДАН (ДАН-ДЭ), разработанного в ИКИ РАН, и блока импульсного нейтрон-

ного генератора (ДАН-ИНГ), разработанного во ВНИИА. Блок ДАН-ИНГ генерирует импульсы быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ (10^7 нейтр./имп.), используя ядерную реакцию $D+T \rightarrow {}^4\text{He}+n$, и облучает ими поверхность под марсоходом. Часть нейтронов, замедлившись в веществе грунта, вылетает обратно из поверхности и регистрируется детекторами ДАН-ДЭ в виде временного профиля, который называется динамическим альbedo нейтронов. На их форму и амплитуду существенное влияние оказывает наличие в грунте Марса водорода и нейтронно-поглощающих элементов. В условиях Марса водород, как правило, связан в молекуле воды, поэтому анализ нейтронного отклика поверхности позволяет восстановить концентрацию воды и её распределение по глубине.

За всё время работы на Марсе марсоход «Кьюриосити» проехал более 30 км, выполнив огромное количество измерений с использованием нейтронного генератора и показав большую переменность содержания связанной воды в зависимости от типа осадочных пород. В докладе представлены наиболее важные результаты эксперимента ДАН, которые предоставили новые знания о ранних этапах эволюции Марса.



Влияние взаимного положения проб при их облучении источником рентгеновского излучения

М.Ю. Мишин, Р.Ф. Ибрагимов, А.В. Лазукин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В работе выполнено экспериментальное исследование действия рентгеновского излучения на всхожесть травмированных семян рапса «Ратник». Для восстановления дозы в точках расположения отдельных проб проведены расчёты в среде Geant4.

Положительные эффекты от обработки семян культурных растений ионизирующим излучением в умеренных дозах связаны с эффектом радиационного гормезиса [1]. При подобных обработках эффект повышения качественных характеристик прорастания отмечается и в полевых исследованиях [2]. Необходимо учитывать, что реакция посевного материала на обработку проявляется в достаточно узком диапазоне доз. Пренебрежение средствами контроля дозы при наличии особенностей экспериментального поля может в значительной степени сказаться на результатах.

Травмированные семена рапса «Ратник» урожая 2015 года (всхожесть в контроле $3,0 \pm 0,7\%$) облучались рентгеновским излучением аппарата РАПАН М 200/100 в серии из 12 экспериментов в период с июля по ноябрь 2025 года. Контролировалась всхожесть семян на 7 сутки после облучения. Наиболее значимый наблюдаемый ответ всхожести на обработку составил 9,8%. Пробы семян располагались в полиэтилено-

вых пакетах на картонных щитках вдоль линии облучения на одной высоте на разных расстояниях от источника. В рамках одного эксперимента, в зависимости от расстояния от источника, разница эффекта в двух вариантах, расположенных на разных сторонах щитка (слой картона и 2 см дистанции между пробами), могла составлять до двух крат.

Для уточнения обстоятельств взаимного влияния проб на различных дистанциях облучения было проведено моделирование в среде Geant4. Модельная геометрия включала в себя биологическую защиту, коллиматор и корпус источника. Источник излучения – точечный, с расчётным спектром рентгеновского излучения для случаев материала анода из меди и вольфрама, соответствующий напряжению на аноде 200 кВ. В качестве моделей семян использовались кубы воды со стороной 1 см.

Проведённое моделирование позволило скорректировать дозы, соответствующие текущему положению проб с учётом затенения.

Список литературы:

1. С.О. Афонина, Г.А. Атамановская и др. Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2024. – № 3. – С. 166–174.
2. Я.В. Зубрицкая, У.А. Близнюк и др. Фитосанитария. Карантин растений. – 2024. – № 20. – С. 32.



Обзор объектовых автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО), технические требования и особенности построения современной АСКРО и направления развития

Р.А. Насибуллин¹, А.С. Гордеев¹, И.И. Черкашин¹, С.Б. Чебышов²

¹ АО «СНИИП» – Москва, Россия;

² АО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала» – Москва, Россия

В докладе приведён обзор существующих объектовых АСКРО. Рассмотрены их составы, технические характеристики и функциональное назначение входящих в их состав аппаратно-технических средств. Приведена сравнительная характеристика отраслевого стандарта СТО 1.1.1.01.001.0875-2025 с требованиями, изложенными в версии 2017 г., показаны спорные технические требования при проектировании современных аппаратных средств АСКРО, описаны ключевые характеристики для обеспечения эксплуатации технических средств АСКРО в течение всего жизненного цикла и продления их срока службы. В заключении приведено описание зарубежных технических средств для решения задач АСКРО и показаны тренды развития современных программно-аппаратных средств АСКРО отечественного производства.

В работе выполнен сравнительный анализ существующих объектовых АСКРО по составу входящего в них аппаратно-технических средств, по соответствию технических характеристик требованиям отраслевого стандарта. Сделаны выводы по текущему состоянию объектовых АСКРО и планах эксплуатации в разрезе до 2030 года. Далее приведены результаты анализа двух последних ревизий отраслевого стандарта СТО 1.1.1.01.001.0875 за 2017 и 2025 гг., рассмотрены изменения предъявляемых требований к аппаратуре контроля радиационной обстановки и отражены спорные вопросы при проектировании современных аппаратных средств АСКРО.

На основе опыта проведения обследования существующих АСКРО с целью опре-

деления возможности продления срока их службы рассмотрены ключевые требования, предъявляемые к техническим средствам АСКРО при эксплуатации, для процедур оценки технического состояния и проведения ресурсных расчётов. Сделаны выводы по важности и необходимости поддержания аппаратно-технических средств на современном уровне развития техники.

В заключении рассмотрены зарубежные аналоги технических средств АСКРО, выполнено сравнение технических характеристик с отечественными решениями и сделаны выводы по направлению современного развития программно-аппаратных средств АСКРО отечественного производства.



Итоги проекта по разработке программно-технических средств АСКРО в защищённом отказоустойчивом исполнении АО «СНИИП»

Р.А. Насибуллин¹, М.В. Орлов¹, К.Ю. Кротов¹, Д.А. Бексалиев¹, А.С. Гордеев¹,
И.И. Черкашин¹, С.Б. Чебышов²

¹ АО «СНИИП» – Москва, Россия;

² АО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты работ по выполнению инвестиционного проекта по разработке программно-технических средств АСКРО в защищённом отказоустойчивом исполнении по классу безопасности ЗН, проводимых в АО «СНИИП» в период с 2020 по 2024 гг.

В результате работы над проектом по разработке программно-технических средств АСКРО в защищённом отказоустойчивом исполнении была разработана серия типизированных постов радиационного контроля автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) с учётом требований отраслевого стандарта СТО 1.1.1.01.001.0875-2017. Посты контроля радиационной обстановки разработаны в соответствии с требованием зонального размещения вокруг АЭС и представлены в трёх модификациях: в павильонном, в контейнерном и в малогабаритном исполнении. В работе приведён обзор самих постов АСКРО и входящих в них аппаратно-технических средств для обеспечения контроля МАЭД фотонного излучения.

В докладе рассмотрены этапы создания и объём проведённых работ в части конструкторских, технологических работ, работ по разработке рабочей конструкторской документации, проведению различных испытаний и, как результат, утверждение типа средства измерения всей серии типизированных постов радиационного контроля.

В заключении сделаны выводы по опыту создания аппаратуры контроля радиационной обстановки в свете допущенных ошибок и полученному опыту в процессе проектирования сложных аппаратно-технических средств в жёстко установленные сроки.



Использование моделей глубокого обучения для детектирования импульсов тока в поверхностном барьерном разряде

Д.Ю. Низамов¹, А.В. Лазукин², С.А. Зайцев¹

¹ ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте» – Москва, Россия;

² Национальный исследовательский университет «МЭИ» – Москва, Россия

Предложена архитектура нейронной сети и алгоритмы предобработки данных и обучения для решения задачи детектирования импульсов тока в поверхностном барьерном разряде. Показано, что предложенная модель работает существенно лучше простых математических алгоритмов.

Поверхностный барьерный разряд существует как совокупность небольших разрядов в воздухе, далее называемых микро-разрядами. Ток в установке, генерирующей поверхностный барьерный разряд, представляет из себя гармоническую составляющую, обусловленную наличием ёмкости установки, и группы импульсов тока, соответствующих временам развития микро-разрядов в воздухе. Для анализа состояния установки, в том числе с целью принятия решений системами автоматического управления, требуется детектирование импульсов тока и определение их характеристик. Ввиду интенсивности шума в сигнале, детектирование импульсов математическими алгоритмами затруднено: импульсы часто не выделяются на фоне шума по численным характеристикам, таким как амплитуда или площадь под кривой, и могут быть обнаружены только из-за изменения паттернов поведения шума. Предлагается использовать модели глубокого обучения для моделирования и анализа таких паттернов.

В качестве модели использовался ансамбль из шести рекуррентных нейронных

сетей с долгой краткосрочной памятью (LSTM-RNN), каждая из которых имеет 2 слоя по 64–128 нейрона. Такая структура позволяет опираться на локальный контекст временного ряда. Три нейронные сети обучались определять отрицательные импульсы, ещё три – положительные. Для построения нейросетей использовался фреймворк, предложенный в [1].

В качестве альтернативного решения использовалась простая отсечка по амплитуде, которая подбиралась на основе разметки. В качестве признаков для обучения использовались ток, напряжение и кажущийся заряд, рассчитанный как площадь под кривой тока. Предобработка данных заключалась в вычитании гармонической составляющей ёмкостного тока и приведении признаков к единому масштабу.

Количество найденных импульсов составило: для LSTM-RNN – 90,51 %, для отсечки – 62,8 %. При этом количество ложных срабатываний на 100 предсказаний составило: для LSTM-RNN – 8,87 шт., для отсечки – 4,5 шт.

Список литературы:

1. Azib M., Renard B. et al. // Event Detection in Time Series: Universal Deep Learning Approach. arXiv:2311.15654, DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.15654>.



Новая металлокерамическая трубка ГНТЗ-30 для аппаратуры импульсного нейтронного каротажа малого диаметра

Н.С. Носиков, С.В. Сыромуков

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

Представлены результаты разработки новой металлокерамической трубки ГНТЗ-30 для аппаратуры импульсного нейтронного каротажа малого диаметра. Особенности трубки являются: короткие фронты нейтронного импульса, повышенная величина потока и ресурса. Длительность фронтов нейтронного импульсов составляет 500 нс, при этом ресурс трубки не менее 700 ч при потоке $2,0 \cdot 10^8$ нейтр./с.

Диаметр каротажной аппаратуры для геофизических исследований в значительной степени определяется габаритами западной трубки, используемой в импульсном генераторе нейтронов. Для геофизических исследований «тонких» нефтегазовых скважин, в том числе через насосно-компрессорные трубы, применяется аппаратура импульсного нейтрон-нейтронного каротажа АИНК-43П с нейтронным генератором ИНГ-08.

Для более информативных методов, таких как импульсный нейтронный гамма-каротаж скважин малого диаметра, в России до сих пор использовалось импортное оборудование. Сейчас во ВНИИА разрабатывается малогабаритная аппаратура импульсного нейтронного гамма-спектрометрического каротажа АИНК-50С.

В частности, разработана малогабаритная нейтронная трубка ГНТЗ-30 диаметром 30 мм с потоком $2 \cdot 10^8$ нейтр./с и ресурсом не менее 700 ч. Длительность фронтов нейтронных импульсов ГНТЗ-30 составляет 500 нс. Малая длительность фронта нейтронных импульсов способствует повышению информативности нейтронного гамма-каротажа за счёт увеличения частоты следования импульсов.

Нейтронной трубки с таким набором параметров в России до сих пор не существовало. В докладе представлены результаты испытаний ГНТЗ-30, которые показали, что отечественная трубка ГНТЗ-30 соответствует требованиям аппаратуры импульсного нейтронного гамма-каротажа для прибора малого диаметра.



Особенности разработки и выполнения программно-аппаратных алгоритмов работы серии постов радиационного контроля АСКРО с учётом эксплуатации их в разных зонах контроля вокруг АЭС

М.В. Орлов, Р.А. Насибуллин, А.С. Гордеев

АО «СНИИП» – Москва, Россия

В докладе рассматриваются особенности реализации алгоритмов работы серии типизированных постов радиационного контроля (ПРК) автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) производства АО «СНИИП», применяемых для обеспечения мониторинга радиационной обстановки на площадке и вокруг АЭС в санитарно-защитной зоне и зонах наблюдения.

В зависимости от территориальной удалённости и решаемых задач разработана типизированная серия ПРК трёх типов исполнений, отличающихся как конструктивной реализацией, так и функциональными возможностями (павильонный тип – ПРК-04Р, контейнерный тип – ПРК-02Р и малогабаритный тип – ПРК-05Р исполнения).

В работе приведены особенности построения алгоритмов работы для всей вышеприведённой серии ПРК, отличающихся составом аппаратно-технических средств и их функционалом. В докладе рассмотрены алгоритмы функционирования встроенных промышленных контроллеров, описаны их возможности и ограничения, показана реализация протокола обмена данными для передачи спектрометрических данных

на устройства верхнего уровня системы АСКРО, приведены особенности проектирования алгоритмов метрологически значимой части встроенного программного обеспечения, рассмотрены особенности алгоритмов работы постов при штатной и аварийной обстановке, показаны технические решения при реализации функций передачи статусной и измерительной информации без запроса с верхнего уровня АСКРО при резервированных линиях передачи данных.

В заключении сделаны выводы по обеспечению соответствия алгоритмов требованиям ЕСПД, необходимости их документирования с целью дальнейшей доработки и обеспечения переносимости на новые изделия.



Разработка методики и опробование режима активировки газогенератора газонаполненных нейтронных трубок для блока питания и управления импульсным нейтронным генератором

Д.А. Охманович

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

В работе рассмотрено устройство каротажных импульсных нейтронных генераторов (ИНГ), газонаполненных нейтронных трубок (ГНТ), а также указаны основные проблемы, связанные с их эксплуатацией. Проведён анализ одной из главных проблем, связанной с «натеканием» газонаполненной нейтронной трубки при её долгом хранении (от трёх месяцев), и представлен вариант восстановления её работоспособности при помощи процедуры активировки газогенератора (геттера).

Рассмотрены основные блоки, из которых состоит разработанный макет универсального блока питания и управления (БПУ) для каротажных ИНГ на газонаполненной нейтронной трубке. Приведён рас-

чёт и обоснован выбор режима активировки газогенератора (газопоглотителя) ГПТ-1. Разработан оптимальный режим проведения активировки газопоглотителя для нейтронных трубок типа ГНТЗ-42.

В ходе работы проведено опробование режима активировки газопоглотителя на различных нейтронных трубках типа ГНТ (ГНТЗ-67(Д), ГНТЗ-42(Д), ГНТЗ-42-01(Т), ГНТ2-30(Т)), приведены результаты применения данного режима и проведена оценка улучшения параметров работы ГНТ, таких как: увеличение скорости и линейности выхода на требуемое давление газа, а также снижение потребляемой мощности геттером и, как следствие, и генератором ИНГ.



Определение зольности угля методом меченых нейтронов

В.Ю. Алексахин^{1,2}, **Е.А. Разинков**^{1,2}, Ю.Н. Рогов^{1,2}, М.Г. Сапожников^{1,2}

¹ ООО «Диамант» – Дубна, Россия;

² Объединённый институт ядерных исследований – Дубна, Россия

В докладе рассмотрены результаты определения зольности угля методом меченых нейтронов на установке АГП-К. Также показаны предварительные результаты по определению влажности угля.

Возможность определения зольности угля является актуальной задачей, т.к. зольность напрямую влияет на качество угля, теплотворную способность, экономическую эффективность и экологическую безопасность.

Потенциально технология метода меченых нейтронов позволяет определять зольность угля в режиме реального времени. В докладе обсуждаются результаты работы конвейерной установки АГП-К по определению зольности методом меченых нейтронов.

Установка АГП-К включала в себя портативный нейтронный генератор ИНГ-27 производства 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.

В лабораторных условиях были измерены пробы различных угольных бассейнов. Была получена градуировочная характеристика и оценена сходимость с результатами химического анализа. Также была проведена предварительная градуировка по влажности.



Полупроводниковые детекторы: от исследования до внедрения

А.В. Редкоус, А.С. Гордеев, А.А. Иванов, М.К. Савельев

АО «СНИИП» – Москва, Россия

Кремниевые полупроводниковые детекторы (ППД) нашли широчайшее применение в области регистрации различных видов ионизирующего излучения. В настоящей работе выполнен комплекс исследований различных ППД с учётом их применимости в блоках детектирования. Совместно с изготовителем ППД подобран оптимальный по своим функциональным и эксплуатационным характеристикам вариант.

АО «СНИИП» является производителем блоков детектирования БДБГ-13Р и БДРГ-42Р, предназначенных для задач радиационного контроля помещений и мониторинга технологических процессов на объектах использования атомной энергии, соответственно. В БДБГ-13Р и БДРГ-42 используются покупные готовые функциональные модули, что накладывает определённые трудности в плане модернизации и улучшения характеристик. В связи с этим ведётся разработка блока детектирования, основанного на собственных схемотехнических решениях.

При выборе основного материала детектора рассматривались различные варианты: кремний (Si), арсенид галлия (GaAs), кадмий-цинк-теллур (CdZnTe). В ходе анализа совокупности характеристик был выбран кремниевый ППД.

Были изучены варианты кремниевых ППД, изготовленных по различным технологиям. Детекторы проверялись на соответствие требованиям технических условий блока детектирования БДБГ-13Р:

- диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) в чувствительном поддиапазоне от $5 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^0$ Зв/ч;

- чувствительность к гамма-излучению радионуклида ^{137}Cs в диапазоне от $7,50 \cdot 10^5$ до $1,25 \cdot 10^6$ $\text{с}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1} \cdot \text{ч}$;

- устойчивость измерений в диапазоне температур от минус 60 до плюс 70 °С;

- дополнительно должна осуществляться возможность проверки работоспособности измерительного канала от контрольного светодиода.

В результате совместных с ООО «Софт-Эксперт» исследований были подобраны ППД для применения в указанном блоке детектирования. Разработанные ППД соответствуют всем предъявляемым требованиям и позволяют достичь необходимых характеристик в конструкции нового блока детектирования.

В ходе исследований подтверждено, что разрабатываемый блок детектирования в совокупности с новыми ППД производства «СофтЭксперт» имеет ряд преимуществ и перспективы развития.



Конвейерный анализатор аглошихты на основе метода меченых нейтронов

В.Ю. Алексахин^{1,2}, Е.А. Андреев¹, И.К. Комаров¹, Е.А. Разинков¹,
Ю.Н. Рогов^{1,2}, М.Г. Сапожников^{1,2}

¹ ООО «Диамант» – Дубна, Россия;

² Объединённый институт ядерных исследований – Дубна, Россия

В работе обсуждаются результаты работы конвейерного анализатора аглошихты на основе метода меченых нейтронов. Приводится описание конструкции анализатора и результатов эксплуатации анализатора на площадке заказчика в течение нескольких месяцев.

Создан конвейерный анализатор агломерационной шихты на основе метода меченых нейтронов. Он предназначен для определения элементного состава аглошихты в режиме реального времени, без отбора проб. Шихта, движущаяся по конвейеру, облучается потоком быстрых меченых нейтронов с энергией 14 МэВ. Спектры индуцированного характеристического гамма-излучения анализируются, определяются массовые доли химических элемен-

тов в шихте и каждые 60–90 с выдаются результаты анализа.

Анализатор состоит из нейтронного модуля, шкафа управления и рабочего места оператора. В состав нейтронного модуля входит нейтронный генератор ИНГ-27 производства ВНИИА, 14 гамма-детекторов, системы сбора данных, системы питания.

Обсуждаются результаты эксплуатации анализатора в условиях реального производства.



Применение метода меченых нейтронов для диагностики остеопороза in vivo

М.Г. Сапожников

ООО «Диамант» – Дубна, Россия

Обсуждается возможность применения метода меченых нейтронов для диагностики остеопороза in vivo.

Метод меченых нейтронов (ММН) позволяет проводить дистанционный неразрушающий анализ элементного состава вещества без отбора проб. Разработка метода ведётся в ОИЯИ с 1998 г., на его основе были созданы различные анализаторы для алмазной, горнодобывающей, угольной, металлургической промышленности.

Цель настоящего проекта – изучить возможность применения метода меченых нейтронов для определения элементного состава тела человека in vivo. Обсуждаются результаты первых измерений, демонстрирующих основные характеристики метода для диагностики остеопороза.



Разработка пьезокерамических элементов с повышенной пьезочувствительностью для виброакустического мониторинга

Н.А. Спиридонов, Д.В. Кузенко, Л.А. Чабан, С.С. Омелянович

ФГБНУ «НИИ «Реактивэлектрон» – Донецк, Россия

Для получения высокочувствительных пьезокерамических элементов для приборов виброакустического мониторинга промышленного оборудования исследуются технологические режимы и способы поляризации пьезоэлемента (температура, напряжённость электрического поля, длительность поляризации) повышения пьезомодуля и снижения диэлектрической проницаемости.

Для виброакустического мониторинга промышленного оборудования и сооружений существуют датчики различного типа, однако наиболее часто используются пьезоэлектрические датчики. Чувствительный элемент таких датчиков преимущественно изготавливается из материалов на основе твёрдых растворов цирконата-титаната свинца, легированных различными добавками. Основным рабочим параметром пьезодатчиков вибраций является пьезочувствительность и высокая стабильность по отношению к внешним воздействиям (механическим, тепловым, электромагнитным, радиационным). При этом чувствительность датчика вибраций преимущественно определяется пьезочувствительностью используемой пьезокерамики g_{ij} [1]. Поскольку пьезочувствительность $g_{ij} = d_{ij}/\epsilon_{ij}$, где d_{ij} – пьезомодуль, ϵ_{ij} – относительная диэлектрическая проницаемость поляризованной пьезокерамики, то повысить пьезочув-

ствительность пьезодатчика можно путём повышения d_{ij} и снижения ϵ_{ij} . Такое возможно путём выбора не только марки пьезоматериала, но и технологическими режимами и способами поляризации пьезоэлемента (температура, напряжённость электрического поля, длительность поляризации) [2]. На основе многолетних исследований, проводимых в НИИ «Реактивэлектрон», по разработке пьезокерамических материалов и технологии изготовления пьезоэлементов по техническим требованиям заказчика [3], в работе исследуются конкретные способы получения пьезоэлементов с повышенной пьезочувствительностью для приборов виброакустического контроля. Используемый в работе подход по поляризации пьезоэлементов ранее позволил нам изготавливать рабочие пьезоэлементы для медицинской УЗИ-техники, аппаратуры сейсмопрогноза выброса метана в угольных шахтах, ультразвуковых расходомеров газа.

Список литературы:

1. ОСТ 11 0444-87 Материалы пьезокерамические. Технические условия.
2. И.А. Глозман. Пьезокерамические материалы в электронной технике. – М.; Л.: Энергия, 1965. – 192 с.
3. Ю.С. Прилипко. Функциональная керамика. Оптимизация технологии. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 491 с.



Алгоритм декомпозиции аппаратурных альфа-спектров для повышения точности радиометрии аэрозолей

А.Р. Сучков, В.А. Кишев, С.Б. Журба

АО «СНИИП» – Москва, Россия

Был разработан алгоритм, использующий методы аппроксимации и декомпозиции альфа-спектров. Показано, что данный подход позволяет точнее рассчитывать активность и оценить вклад каждого пика в соседние области спектра по сравнению с традиционным методом фиксированных «областей интереса». Разработанный алгоритм обладает потенциалом для интеграции в аппаратуру непрерывного контроля, обеспечивая повышенную точность измерений объёмной активности аэрозольных сред.

Проведение корректного анализа альфа-спектров в ходе радиометрического контроля аэрозолей традиционно затруднено из-за искажений, вызванных поглощением альфа-излучения вне детектора, что приводит к «размыванию» спектра и наложению пиков.

Для решения этой задачи был разработан алгоритм, в основе которого лежат методы аппроксимации и декомпозиции альфа-спектров [1, 2]. Ключевая задача алгоритма – эффективное разделение сложного суммарного спектра на составляющие его индивидуальные альфа-пики с последующей количественной оценкой активности отдельных радионуклидов. Это позволяет работать непосредственно с искажёнными спектрами, получаемыми с блока детектирования в реальном времени.

Алгоритм осуществляет поиск пиковых максимумов и последующее разложение

спектральной кривой на набор составляющих её компонент. В работе показано, что данный адаптивный подход позволяет не только точнее рассчитать объёмную активность радионуклидов, но и оценить вклад альфа-излучения каждого пика в соседние области спектра. Это отличает его от метода анализа по фиксированным «областям интереса», не учитывающего вариабельность положения пиков и их взаимное влияние.

Таким образом, разработанный алгоритм обладает потенциалом для интеграции в аппаратно-программные комплексы непрерывного радиационного контроля. Его применение обеспечивает повышенную точность измерений объёмной активности аэрозольных сред, что является критически важным для оперативного принятия решений в системах радиационной безопасности.

Список литературы:

1. J. Yang et al. // Study on peak shape fitting method in radon progeny measurement. Radiation Protection Dosimetry. – 2015. – Vol. 167. – P. 115–120.
2. G. A. Marzo // A comparison of different peak shapes for deconvolution of alpha-particle spectra. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research section A. – 2016. – Vol. 832. – P. 191–201.



Исследование импульсной динамики ионов, экстрагируемых из ионного источника газонаполненной нейтронной трубки

Ю.Г. Трифонова^{1,2}, И.А. Каньшин¹, С.П. Масленников^{1,2}

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

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

В докладе представлены результаты моделирования процессов формирования импульсных ионных потоков, экстрагируемых из ионного источника Пеннинга с дополнительным управляющим электродом, при различных геометрических параметрах ионно-оптической системы газонаполненной нейтронной трубки.

Генераторы нейтронов с газонаполненными нейтронными трубками применяются в научной аппаратуре и технологических установках при решении широкого круга задач в области ядерной медицины, элементного анализа вещества, неразрушающего контроля и геофизических исследований [1]. Для повышения эффективности нейтронных методов анализа и расширения сферы их практического применения необходимо обеспечить увеличение ресурса и стабильности рабочих характеристик разрабатываемой аппаратуры.

Проведённые исследования нейтронных трубок с ионными источниками Пеннинга позволили определить условия их работы, при которых обеспечиваются условия стабильной генерации импульсных нейтронных потоков. Полученные результаты показали, что в пакетно-импульсных режимах, а также в условиях внешних магнитных и

температурных воздействий возможно изменение режимов горения разряда, амплитудных и временных характеристик [2, 3].

Исследования по разработке нейтронных трубок на основе ионных источников Пеннинга, использующих в ионно-оптической системе дополнительный управляющий электрод, имеют свою цель – обеспечить уменьшение времени запаздывания (с 7 мкс до 1 мкс) и фронтов формируемых импульсов ионных потоков (с 5 мкс до 600 нс), повышение стабильности генерации нейтронов. По результатам численного моделирования процессов формирования потоков ионов изотопов водорода определены варианты конструктивного исполнения электродов ионно-оптической системы, обеспечивающих заданные режимы управления нейтронной трубки в импульсных режимах работы.

Список литературы:

1. Плешакова Р.П. Импульсная нейтронная трубка / Патент РФ 2198441.
2. S.P. Maslennikov, I.M. Mamedov. / Journal of Communications Technology and Electronics, 2022. – Vol. 67. – No. 7. – Pp. 918–922.
3. S.P. Maslennikov, I. M. Mamedov. / Journal of Communications Technology and Electronics, 2023, –Vol. 68. – No. 5. – Pp. 591–594.



Сцинтилляционный гамма-спектрометр и радиометр тепловых нейтронов на основе $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6\text{:Ce}$ (CLYC)

И.В. Урупа, О.К. Бобожонов, А.П. Денисенко

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В настоящее время в связи с расширением применения радиационных технологий в различных областях науки и промышленности неуклонно расширяется номенклатура создаваемых детекторов ионизирующих излучений. В последние годы создаются, в том числе, и новые сцинтилляционные материалы, характеризующиеся высокими спектрометрическими характеристиками. Особенно актуальны материалы, чувствительные к различным видам ионизирующих излучений, для работы в смешанных полях нейтронов и гамма-квантов. Одним из таких сцинтилляторов является неорганический кристалл $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6\text{:Ce}$ (CLYC) с возможностью нейтрон-гамма-разделения по форме импульса [1,2].

Работа посвящена исследованию спектрометрических характеристик сцинтиллятора $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6\text{:Ce}$ (CLYC) с 95% обогащением по изотопу ^6Li при регистрации нейтронов и гамма-квантов. Продемонстрирована возможность разделения по форме импульса тепловых нейтронов от гамма-квантов при работе в поле радиоизотопного (α, n)-источника нейтронов $^{241}\text{Am/Be}$.

Показано, что спектрометр на основе CLYC обладает высоким энергетическим разрешением при спектрометрии гамма-излучения (4,9% по линии 661,6 кэВ источника ^{137}Cs), что в два раза превосходит результаты, демонстрируемые сцинтилляторами NaI(Tl) , и незначительно уступает показа-

ниям спектрометров с $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$. Большой эффективный атомный номер обуславливает также высокую эффективность регистрации гамма-излучения.

Отмечается, что сцинтиллятор, обогащенный по изотопу ^6Li , регистрирует в основном тепловые нейтроны и не чувствителен к нейтронам высоких энергий. Таким образом, спектрометр на основе CLYC с литием-6 при регистрации нейтронов возможно использовать лишь в качестве дозиметра-радиометра.

В дальнейшем для спектрометрии тепловых и быстрых нейтронов предлагается переход на сцинтиллятор CLYC с обогащением по ^7Li .

Список литературы:

1. D. Perez-Loureiro, O. Kamaev et. al. // Evaluation of CLYC-6 and CLYC-7 scintillators for detection of nuclear materials. NIMA. 2021. 1012, 165622.
2. F. Ferulli, M. Labalme, M. Silari // Investigation of CLYC-6 for thermal neutron detection and CLYC-7 for fast neutron spectrometry. NIMA. 2022, 1029, 166460.



Сравнение пассивных и активных методов элементного анализа на примере определения содержания лантана

О.В. Чакилев, С.В. Колесников, А.С. Колесников

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Москва, Россия

В докладе представлены результаты сравнения пассивных и активных методов элементного анализа. Пассивный метод представляет собой измерение естественной радиоактивности лантана, в качестве активных сравнивается классический нейтронно-активационный анализ и мгновенный нейтронно-радиационный.

Обнаружение элементов по их спектрам гамма-излучения возможно как пассивными (по собственному излучению), так и активными (по ответному излучению) методами. Пассивные методы значительно проще, однако их возможности зачастую ограничены низкой удельной активностью, что приводит к большому времени набора необходимой статистики. Активные методы устраняют эту проблему, вынуждая ядро реагировать на зондирующее нейтронное излучение. Классический нейтронно-активационный анализ (НАА) доказал свою применимость во многих областях элементного анализа. Однако для многих элементов при их изучении с помощью НАА существуют ограничения, такие как: период полураспада (диапазон изменения от нескольких мс до нескольких лет) и связанное с этой величиной время облучения. Таким образом, для многих элементов анализ по собственному

излучению либо НАА ограничены большим временем набора статистики. Напротив, мгновенный анализ с использованием реакций радиационного захвата тепловых нейтронов позволяет получать информацию прямо во время облучения.

В данной работе проводилось сравнение представленных методов по двум критериям: минимально обнаруживаемая концентрация и время анализа. Образец представлен в виде оксида лантана массой 40 г. В качестве источника быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ для активных методов использовался генератор ИНГ-07Т, в качестве гамма-детектора в нейтронно-радиационном анализе – сцинтилляционный детектор на основе монокристалла $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ размерами $\varnothing 76 \times 76$ мм. Для пассивного метода и НАА был использован детектор на основе особо чистого германия.



Математическое моделирование УФ-источников излучения на основе импульсно-периодического разряда в инертных газах

В.М. Градов¹, С.В. Гавриш², П.А. Чиликина²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Москва, Россия;

² ООО «Научно-производственное предприятие «Мелитта» – Москва, Россия

Математическое моделирование сегодня прочно внедряется в разработку новых газоразрядных ламп (ГРЛ) высокого давления, работающих как в импульсном режиме, так и при постоянном токе. Данный метод вычислительного эксперимента позволяет существенно сократить объём эмпирического поиска оптимальной конструкции ГРЛ. В работе рассматривается математическая модель импульсно-периодического разряда в ксеноне и криптоне, приводится алгоритм её реализации и информационное оснащение расчётов, а именно – данные по термодинамическим и теплофизическим свойствам исследуемой плазмы (теплоёмкости, плотности, энтальпии, коэффициентам тепло- и электропроводности), коэффициенту оптического поглощения. Отдельно представлен массив данных о теплофизических и оптических свойствах материалов конструкции лампы.

В результате выполненного компьютерного моделирования установлено:

- пиковая сила излучения I в спектральном диапазоне 250–400 нм сильно зависит от удельной электрической мощности $P_{уд}$ и практически не определяется давлением наполнения p . Например, в случае ксеноновой лампы ($r=0,25$ см) при $P_{уд}=10^3$ Вт/см³ изменение давления от 100 до 400 мм рт. ст. приводит к росту I от 8,8 Вт/ср до 11 Вт/ср, т.е. на 25 %. В то же время при $P_{уд}=0,12 \cdot 10^5$ Вт/см³ аналогичное увеличение p способствует снижению I от 190 Вт/ср до 185 Вт/ср, т.е. изменение составляет всего примерно на 2,5 %. В случае криптонового разряда отмеченный характер зависимостей сохраняется;

- подробно рассмотрен вопрос о роли поглощения УФ-излучения кварцевой оболочкой лампы. Установлено, для ксеноновых ламп ($r=0,25$ см) при смещении границы пропускания до 360 нм и $P_{уд}=0,3 \cdot 10^4$ Вт/см³ пиковая сила излучения уменьшается поч-

ти на 40 %, а при $P_{уд}=0,1 \cdot 10^5$ Вт/см³ – на 45 %. При этом в случае $P_{уд}=0,3 \cdot 10^4$ Вт/см³ распределение доли излучения в УФ-области имеет следующий характер: в диапазоне $\Delta\lambda=430\text{--}450$ нм излучается до 1 % от вкладываемой в разряд электрической мощности, в интервале 360–430 нм – 3,7 %, а в диапазоне 250–360 нм – 3,4 % (всего в диапазоне 250–450 нм, таким образом, получено 8,1 %). При $P_{уд}=0,1 \cdot 10^5$ Вт/см³ доли излучения в указанных областях спектра оказываются следующими: 1,4; 5,3; 5,4 % (всего 12,1 %).

В итоге, выполненный в работе вычислительный эксперимент показал, что в качестве источника УФ-излучения ксеноновый разряд является более эффективным, и для достижения пиковой силы излучения не менее 25 Вт/ср при электрических мощностях 100–300 Вт необходимо обеспечить частоту следования токовых импульсов в интервале $f=10\text{--}50$ Гц.



Исследование ионного тока в ускоряющем промежутке вакуумной нейтронной трубки во внешнем магнитном поле

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

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

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

В работе обсуждаются результаты исследований влияния внешнего магнитного поля на условия формирования и параметры импульсных ионных потоков в вакуумной нейтронной трубке. Полученные данные продемонстрировали локализацию ионов дейтерия в головной части потока, что позволило определить временные параметры импульса ускоряющего напряжения для повышения энергетической эффективности работы трубки.

В ионном источнике вакуумной нейтронной трубки разряд между анодом и катодом инициируется при подаче поджигающего импульса напряжения на управляющий электрод, который отделён от катода диэлектрической шайбой. Электроды ионного источника изготавливаются из циркония, насыщенного дейтерием. Образующаяся при горении искродугового разряда плазма содержит в себе ионы дейтерия, циркония, а также в небольшом количестве ионы кислорода, углерода и азота, которые остаются после технологических операций при изготовлении трубки [1]. Процентное содержание различных ионов в сформированном потоке зависит от концентрации дейтерия в электродах, длительности и формы тока разряда, его амплитудных характеристик и изменяется в зависимости от координаты в потоке [2–4]. Ионы дейтерия, необходимые

для реакции ядерного синтеза в мишени, переносят около половины полного заряда ионного потока. Остальная часть заряда ионов связана в основном с ионами циркония [5], которые, не приводя к генерации нейтронов, повышают энергопотребление трубки и тепловую нагрузку на узлы излучателя нейтронов.

В данной работе под действием поперечного магнитного поля лёгкие ионы дейтерия отклонялись в процессе их движения в ускоряющем промежутке, что позволяло измерять на мишени параметры потоков ионов циркония. Полученные результаты позволили оценить длительность импульса ускоряющего напряжения, при которой уменьшались энергозатраты на формирование ионных потоков и повышалась энергетическая эффективность работы излучателя нейтронов.

Список литературы:

1. Г.Ю. Юшков, А.Г. Николаев и др. // Письма в ЖТФ – 2014. – Т. 40. – № 23. – С. 74–81.
2. А.Г. Николаев, Е.М. Окс и др. // ЖТФ. – 2017. – Т. 87ю – № 5. – С. 681–687.
3. Д.Л. Шмелев, С.А. Баренгольц и др. // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40. – № 18. – С. 16–23.
4. А.Г. Николаев, Е.М. Окс и др. // Известия вузов. Физика. – 2019. – Т. 62. – № 7 (739). – С. 11–18.
5. Д.Н. Селезнев, Т.В. Кулевой и др. // Известия вузов. Физика. – 2016. – Т. 59. – № 9/3. – С. 277–283.



Накопительные первичные преобразователи на основе р-і-п- и МОП-структур для детектирования ионизирующих излучений

В.С. Яшин^{1,2}, В.В. Федоренко²

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

² ООО «СофтЭксперт» – Солнечногорск, Россия

Рассматриваются первичные преобразователи накопительного действия на основе полупроводниковых р-і-п- и МОП-структур. Данные структуры обеспечивают пассивную регистрацию ионизирующего излучения. Особое внимание уделено исследованиям зависимости характеристик отклика от конструкции изделия, и рассмотрены физические механизмы формирования дозовых характеристик. Исследованы особенности отклика изделий для различных видов излучения.

Полупроводниковые накопительные структуры широко применяются в космической области, радиационной медицине, а также при индивидуальном радиационном контроле, благодаря способности фиксировать поглощённую дозу в виде стабильных изменений токовых, ёмкостных и пороговых параметров. Наиболее изученными и устойчивыми для таких задач являются МОП-структуры с подзатворным диэлектриком различной толщины. Их отклик определяется физическими процессами генерации и захвата зарядов в объёме подзатворного диэлектрика.

Р-і-п-структуры рассматриваются как накопительные детекторы при контроле

прямой ветви диода. Эти структуры демонстрируют дозозависимое изменение прямой ветви вольтамперной характеристики при облучении нейтронным излучением, что обусловлено образованием центров рекомбинации в объёме полупроводника и рядом ядерных реакций.

В работе представлены конструктивные и схемотехнические решения для гибридного применения р-і-п- и МОП-структур в составе дозиметрических модулей. МОП-структуры регистрируют дозу по смещению порогового напряжения, связанному с накоплением положительного заряда в SiO₂ и ростом плотности интерфейсных ловушек.

Список литературы:

1. Перевертайло В.Л. Создание элементной базы для ядерно-физического и радиационного приборостроения на основе кремниевой интегральной технологии: Труды 5-й Междунар. науч.-практич. конф. «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса, 2004. – С. 200.
2. Fleetwood, D. M. Total Ionizing Dose Effects in MOS and Low-Dose-Rate-Sensitive Linear-Bipolar Devices. IEEE Transactions on Nuclear Science, 60(3), 1706–1730 (2013).

V Научно-практическая конференция
«Физико-технические интеллектуальные системы»
(ФТИС-2026)

Сборник тезисов

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

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

ISBN 978-5-98662-201-9



Подписано в печать 16.01.2026
Формат 210×297. Печать цифровая. Бумага офсетная
Тираж 150 экз. Заказ № 301880

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



Официальный сайт
конференции:
ftis-conf.mephi.ru