

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

---

# Современные проблемы физики и технологий

VII Международная молодежная научная школа-конференция

16–21 апреля 2018 года

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Часть 2

МОСКВА

УДК 53+62+61  
ББК 22.3+3+51  
М 43

**Современные проблемы физики и технологий.** VII-я Международная молодежная научная школа-конференция, 16–21 апреля 2018 г.: Тезисы докладов. Часть 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – 376 с.

Международные молодежные научные школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий» проходят на базе НИЯУ МИФИ и ФИАН ежегодно. Целью научной школы является привлечение молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников к обсуждению актуальных научных проблем современной фундаментальной и прикладной физики, ядерных и физических технологий, повышение квалификации будущих исследователей и привлечение молодых кадров в науку и образование. Лекторами школ приглашаются ведущие в мире ученые по передовым направлениям физики, технологии, техники и образования. Формат школы предусматривает доклады молодых ученых на устной и стендовой секциях.

Сборник тезисов докладов VII Международной молодёжной научной школы объединил работы школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках VII Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика, Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы, IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность, Инженерно-физические технологии для биомедицины, Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии, а также доклады на английском языке.

Тезисы докладов издаются в авторской редакции

ISBN 978-5-7262-2467-1

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2018

## **О Международной молодёжной научной школе-конференции**

Международные молодежные научные школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий» проходят на базе НИЯУ МИФИ и ФИАН ежегодно. Целью научной школы является привлечение молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников к обсуждению актуальных научных проблем современной фундаментальной и прикладной физики, ядерных и физических технологий, повышение квалификации будущих исследователей и привлечение молодых кадров в науку и образование. Лекторами школ приглашаются ведущие в мире ученые по передовым направлениям физики, технологии, техники и образования. Формат школы предусматривает доклады молодых ученых на устной и стендовой секциях. Сборник тезисов докладов VII Международной молодёжной научной школы объединил работы студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках VII Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика, Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы, IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность, Инженерно-физические технологии для биомедицины, Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии.

### **Место проведения**

VII Международная молодёжная научная школа-конференция пройдет с 16 по 21 апреля 2018 года в Москве на базе Национального исследовательского ядерного университета МИФИ и Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

### **Рабочий язык школы: русский и английский**

### **Организаторы международной молодёжной научной школы-конференции**

- Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
- Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
- При поддержке Российского фонда фундаментальных исследований

### **Сопредседатели программного комитета**

- Стриханов Михаил Николаевич – ректор НИЯУ МИФИ
- Крохин Олег Николаевич – академик РАН, научный руководитель Высшей школы физиков им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ

### **Программный комитет:**

- Карцев П.Ф. (НИЯУ МИФИ) – ответственный секретарь
- Барбашина Н.С. (НИЯУ МИФИ)
- Барберо Джованни (Политехнический университет Турина, Италия, НИЯУ МИФИ)
- Весна Е.Б. (НИЯУ МИФИ)
- Кабашин А.В. (CNRS, Франция)
- Калинин Б.А. (НИЯУ МИФИ)
- Каргин Н.И. (НИЯУ МИФИ)
- Касумова Р.Д. (БГУ, Азербайджан)
- Конов В.И. (ИОФАН)
- Котова С.П. (СФ ФИАН)
- Кузнецов А.П. (НИЯУ МИФИ)
- Кульчин Ю.Н. (Дво РАН, НИЯУ МИФИ)
- Курнаев В.А. (НИЯУ МИФИ)
- Леонова Н.М. (НИЯУ МИФИ)
- Мисюрин С.Ю. (НИЯУ МИФИ)
- Парфенов А.В. («Лазерные технологии», США)
- Тимошенко В.Ю. (НИЯУ МИФИ)
- Тихомиров Г.В. (НИЯУ МИФИ)
- Уммарино Джованни (Политехнический университет Турина, Италия, НИЯУ МИФИ)
- Фойтик Антон (Чешский технический университет в Праге, НИЯУ МИФИ)
- Яценко Л.П. (ИФ НАН, Украина)

## **Сопредседатели организационного комитета**

- Завестовская Ирина Николаевна – директор Инженерно-физического института биомедицины НИЯУ МИФИ
- Яшин Игорь Иванович – и.о. декана ВШФ им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ

## **Организационный комитет**

- Ананская А.А. (НИЯУ МИФИ) - ответственный секретарь оргкомитета
- Алещенко Ю.А. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Вишиванюк А.В. (НИЯУ МИФИ)
- Евсович А.В. (НИЯУ МИФИ)
- Карпов Н.В. (НИЯУ МИФИ)
- Комочкина Е.А. (НИЯУ МИФИ)
- Родионова О.В. (НИЯУ МИФИ)
- Тупицын И.М. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Фроня А.А. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Харин А.Ю. (НИЯУ МИФИ)

## Содержание

---

### Инженерно-физические технологии для биомедицины

THE EFFECT OF DIAMOND CRYSTALLITES ORIENTATION ON LOCAL CONDUCTIVITY OF SURFACE LAYERS GRAPHITIZED BY EXCIMER LASER <u>Dezhkina M.A. , Komlenok M.S. , Zavedeev E.V., Khomich A.A., A.S. Orekhov , A.S. Orekhov, V.I. Konov.</u>	25
HOW IS THE FAT FRACTION AND BONE MINERAL DENSITY RELATED? 1H MRS STUDY <u>Ivantsova A.S., Menshchikov P.E., Semenova N.A., Akhadov T.A.</u>	27
NEUROTRANSMISSION DISTURBANCES FOLLOWING ACUTE PEDIATRIC CONCUSSION <u>Menshchikov P.E., Ivantsova A.S., Semenova N.A., Akhadov T.A.</u>	29
ROBUST SEGMENTATION TOOL FOR IN VIVO SINGLE VOXEL AND 2D 1H MRS OF HUMAN BRAIN <u>Menshchikov P.E., Ivantsova A.S., Semenova N.A., Melnikov I.A. Akhadov T.A.</u>	31
SIMULATION OF 23NA BIRDCAGE RF COIL FOR SMALL ANIMAL 23NA MRI <u>Sadykhov E.G., Pirogov Yu.A., Belyaev V.N.</u>	33
EFFECT OF PARTICLE POLYDISPERSITY ON SPECIFIC ABSORPTION RATE OF ASSEMBLY OF MAGNETIC NANOPARTICLE CLUSTERS <u>Shershnev R.V., Rytov R.A., Usov N.A.</u>	35
ANALYSIS OF CORTICOSPINAL TRACT DIFFUSION IN PATIENTS WITH EARLY STAGE OF SCHIZOPHRENIA: DIFFUSION TENSOR MAGNETIC RESONANCE IMAGING <u>Ublinskiy M.V. , Semenova N.A., Akhadov T.A., Menshchikov P.E., Manzhurtsev A.V., Melnikov I.A.</u>	37
KINETICS APPROACH IN THE STUDY OF NEUROBIOLOGICAL PROCESSES USING FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING AND SPECTROSCOPY <u>Ublinskiy M.V. , Semenova N.A., Akhadov T.A., Menshchikov P.E., Manzhurtsev A.V., Melnikov I.A.</u>	38
USE OF RESTING STATE FMRI IN ANALYSIS OF CEREBELLUM FUNCTIONAL CONNECTIVITY IN PATIENTS WITH MTBI <u>Ublinskiy M.V. , Semenova N.A., Akhadov T.A., Menshchikov P.E., Manzhurtsev A.V., Melnikov I.A.</u>	39

## Содержание

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ НАКОПЛЕНИЯ МЕТИОНИНА В ГЛИОБЛАСТОМАХ С ПОМОЩЬЮ ПЭТ-КТ <i>Агафонова А.В., Пронин И.Н., Хохлова Е.В., Постнов А.А.</i>	41
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ БИОДЕГРАДАЦИИ НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ МЕТОДОМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БИОМЕДИЦИНЕ <i>Алыкова А.Ф., Завестовская И.Н., Тимошенко В.В.</i>	43
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПЛАНОВ IMRT ОПУХОЛЕЙ ПРОСТАТЫ, РЕАЛИЗУЮЩИХ МЕТОД «ОДНОВРЕМЕННОГО ИНТЕГРИРОВАННОГО БУСТА» <i>Артеменкова А.Е., Сухих Е.А., Федотов Ю.А., Шейно И.Н.</i>	45
НОВЫЕ КАТИОННЫЕ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРЫ: ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ <i>Ахлюстина Е.В., Меерович Г.А., Макаров В.И., Романишкин И.Д., Макарова Е.А., Тиганова И.Г., Лоценов В.Б.</i>	47
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ВНУТРИКАНЕВОЙ БРАХИТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВЫ И ШЕИ <i>Базовкина Е.В., Анохин Ю.Н., Борышева Н.Б.</i>	49
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИОГЛОБИНА С ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ <i>Борулева Е.А., Бутусов Л.А., Чудинова Г.К.</i>	51
ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИФфуЗИИ В ТАЛАМУСЕ У ДЕТЕЙ ПРИ лЧМТ ПО ДАННЫМ ДИФфуЗИОННО-ТЕНЗОРНОЙ ТРАКТОГРАФИИ <i>Васюкова О.Р., Манжурцев А.В., Ублинский М.В., Семенова Н.А., Ахадов Т.А.</i>	53
ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКИ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ В ФГБУ ГНЦ ФМБЦ ИМ. А.И. БУРНАЗЯНА ФМБА РОССИИ <i>Владимиров И.Е., Конобеев И.А., Липенгольц А.А., Торкачев Е.С., Федотов Ю.А., Шейно И.Н.</i>	55
СИЛАНИЗИРОВАННЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ CDSE (ЯДРО) / ZNS/CDS/ZNS (ОБОЛОЧКА): НОВЫЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ ЗОНДЫ ДЛЯ <i>Володин Д.О., Самохвалов П.С., Набиев И.Р.</i>	57
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЁДА И СОДЕРЖАЩИХСЯ В НЁМ ПОЛИСАХАРИДОВ <i>Гаврилов С.А.</i>	59

## Содержание

МОДУЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АКТИВНОСТИ МОЗГА МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЛИЖНЕЙ ИК СПЕКТРОСКОПИИ	
<i>Грицаенко Д.И., Елизаров М.В., Грехов А.М.</i>	61
ВОЗМОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СРЕДНЕЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В ОБЪЕМЕ	
<i>Дюженко С.С., Голованова О.Ю., Сабуров В.О., Трошина М.В., Ульяненко С.Е.</i>	63
ОТСЛЕЖИВАНИЕ УРОВНЯ КИСЛОРОДА В ТКАНЯХ IN VIVO С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АННИГИЛЯЦИОННОЙ ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ	
<i>Ишемгулов А.Т., Летута С.Н., Пашикевич С.Н.</i>	65
РАВНОМЕРНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗЫ В РАСПРЕДЕЛЕННОМ ПИКЕ БРЭГГА УСТАНОВКИ «ПРОМЕТЕУС»	
<i>Кисель А.А., Наседкина Н.В., Исаева Е.В., Малахов Е.П., Голованова О.Ю., Соловьев А.Н., Бекетов Е.Е., Ульяненко С.Е.</i>	66
ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ПИГМЕНТНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ	
<i>Кобелев С.А., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Тамразова О.Б., Сергеев В.Ю., Поляков Е.В., Сельчук В.Ю. Иванов Ю.Д.</i>	68
РАЗРАБОТКА МОНИТОРА ЖИЗНЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧЕЛОВЕКА	
<i>Кобрисев П.А., Корженевский А.В., Туйкин Т.С.</i>	70
МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ФИЗИОЛОГИЧНОГО КРОВОТОКА В СИСТЕМАХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА	
<i>Колосов А.С., Дмитриева Н.С.</i>	72
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ	
<i>Кольцов А.В., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Поляков Е.В., Шабалова И.П., Джангирова Т.В., Зайцев С.М., Корневский Н.А., Иванов Ю.Д.</i>	73
СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДИАГНОСТИКЕ ЗАБРЮШИННЫХ ОПУХОЛЕЙ ДЛЯ ВРАЧЕЙ	
<i>Корневская П.Ю., Сельчук В.Ю.</i>	75
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ МЕТОДОМ 19F MRT	
<i>Костромина М.С., Гуляев М.В., Павлова О.С.</i>	77
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРМОНЕЙТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ТЕПЛОКРОВНОГО ОРГАНИЗМА	
<i>Лебедева А.С.</i>	79



## Содержание

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПЛАНОВ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ. ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ПЕРЕСЧЕТА ЧИСЕЛ ХАУНСФИЛДА В ЭЛЕКТРОННУЮ ПЛОТНОСТЬ <i>Логвинова И.С., Захаркив А.Ю., Макарова Е.А.</i>	81
АНКСИОЛИТИЧЕСКИЕ И МНМОТРОПНЫЕ ЭФФЕКТЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ <i>Ломтева Н.А., Кондратенко Е.И., Касимова С.К., Алыкова О.М., Алыкова А.Ф.</i>	83
КОНФОРМНАЯ И КОНВЕНЦИОНАЛЬНАЯ ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ РАКА ПИЩЕВОДА. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА 2D И 3D ПЛАНИРОВАНИЯ <i>Макарова Е.А., Захаркив А.Ю., Логвинова И.С., Титова Л.Н.</i>	85
ВЛИЯНИЕ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ ОКСИГЕНИЗАЦИИ НА ПРОТОННЫЙ МЕТАБОЛИЗМ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА <i>Манжуриев А.В., Ахадов Т.А., Семенова Н.А.</i>	87
КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО УРОФЛОУМЕТРА НА ОСНОВЕ НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ <i>Миннуллина А.М., Порунов А.А., Тюрина М.М.</i>	89
РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОНТРАСТНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ МР ТОМОГРАФИИ В ПРИСУТСТВИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ <i>Михайлов К.А., Гуляев М.В.</i>	91
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КРИОКОНСЕРВАЦИИ КЛЕТОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ <i>Миценых А.С., Гельм Ю.В., Анохин Ю.Н., Абакушина Е.В.</i>	93
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НЗТ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т <i>Молодов П.А., Аникин М.Н., Наймушин А.Г.</i>	95
МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦЫ-РАДИОСЕНСИБИЛИЗАТОРА: ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ <i>Морозов К.В., Белоусов А.В., Морозов В.Н., Крусанов Г.А., Кольванова М.А., Черняев А.П., Штиль А.А.</i>	97
РАЗРАБОТКА МАГНИТОЭКРАНИРУЮЩИХ КАМЕР НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ <i>Мухамедзянова Л.В., Васильева О.В., Кузнецов П.А., Маннинен С.А.</i>	99
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕТОЧНОСТИ УКЛАДКИ ПАЦИЕНТА НА ИЗОДОЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИ КРАНИОСПИНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ <i>Овсянников А.В.</i>	101

## Содержание

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА НА ПАРАМЕТРЫ РОСТА БИОПЛЁНОК <i>Питерскова Л.С., Харьков М.М., Черных Н.А., Казиев А.В., Кукушкина М.С.</i>	103
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ РАСПОЗНОВАНИИ КЛЕТОК КРОВИ <i>Поляков Е.В., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Кобелев С.А., Дмитриева В.В., Моженкова А.В., Тупицын Н.Н., Френкель М.А.</i>	105
РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗ ЗНАНИЙ В СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ КЛЕТОК КРОВИ <i>Поляков Е.В., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Дмитриева В.В., Моженкова А.В., Тупицын Н.Н., Френкель М.А.</i>	107
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕНСОРА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАССИФИКАЦИИ КЛЕТОК КРОВИ <i>Поляков Е.В., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Дмитриева В.В., Моженкова А.В., Тупицын Н.Н., Френкель М.А.</i>	109
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ НА МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ <i>Поляков Е.В., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Дмитриева В.В.</i>	111
РАСЧЕТ ГИДРОПРИВОДА ЭКЗОСКЕЛЕТА <i>Рыбаков И.А., Стукал Д.Г., Михайлов И.В., Воронцова О.И.</i>	113
РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РИСКА ОТРЫВА АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКОЙ БЛЯШКИ <i>Рыжова Э.А., Порунов А.А., Тюрина М.М.</i>	115
МЕТОДИКА ВЕРИФИКАЦИИ ФЛЮЕНСА НА СКАНИРУЮЩЕМ ПРОТОННОМ ПУЧКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА <i>Сабуров В.О., Соловьев А.Н., Моисеев А.С., Казаков Е.И.</i>	117
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ТЕКСТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕР ЛЕЙКОЦИТОВ В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ <i>Садова А.А., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Поляков Е.В., Дмитриева В.В., Моженкова А.В., Тупицын Н.Н., Френкель М.А.,</i>	119
НАНОКОНТЕЙНЕРЫ por-Si ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ КАРАМАЗЕПИНА <i>Слипченко Е.А., Абрамова Е.Н., Яковенко А.Г., Хорт А.М., Швец В.И., Цыганкова М.В., Львовский А.И.</i>	121

## Содержание

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ РЕГЛАМЕНТНЫХ ПРОЦЕДУР КОНТРОЛЯ ГАРАНТИЙ КАЧЕСТВА ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ <i>Соловьев А.Н., Сабуров В.О., Шершнев Р.В., Шемяков А.Е., Пряничников А.А.</i>	123
БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПОРИСТОГО СВМПЭ С УЧАСТИЕМ ДИАТОМЕЙ <i>Статник Е.С.</i>	125
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВИРТУАЛЬНОГО ИМПАКТОРА АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ МИКРОННОГО РАЗМЕРА <i>Столяров С.В., Котковский Г.Е.</i>	128
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ERICA TOOL 1.2. В РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ <i>Султанбек кызы Чынара, Калдыбаев Б.К.</i>	130
МЕТОД ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Талатов Ё.Т.</i>	132
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ ДЕТЕЙ С СИНДРОМОМ ХРОНИЧЕСКОЙ ГЕМАТУРИИ ПРИ ПОМОЩИ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ <i>Толстоухова В.П., Мамаева С.Н.</i>	134
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВО ВСПЕНЕННЫХ СТРУКТУРАХ <i>Тумачёв Д.Д., Гаврилов С.А., Ювченко С.А.</i>	136
АНАЛИЗ НАРУШЕНИЯ ПРОЛИФЕРАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПЛАНАРИЙ <i>Schmidtea mediterranea</i> ПРИ ОСТРОМ ОБЛУЧЕНИИ ГАММА-КВАНТАМИ <i>Ускалова Д.В.</i>	138
МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ ФОТОТЕРАНОСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ И УЛУЧШЕНИЯ ПРИЖИВЛЕНИЯ КОЖНЫХ ТРАНСПЛАТАТОВ ПРИ ПЕРЕКРЕСТНОЙ ТРАНСПЛАНТАЦИИ МЕЛКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ <i>Фаррахова Д.С., Макаров В.И., Лощенов В.Б.</i>	140
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПЛАНОВ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ <i>Федотов Ю.А., Шейно И.Н., Сухих Е.С., Бобров Д.Ю., Артеменкова А.Е., Галютудинова Ж.Ж.</i>	142
АНАЛИЗ $Ca^{2+}$ - СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ В ПЛАСТИЧНОСТИ СИНАПСОВ КЛЕТОК ПУРКИНЬЕ <i>Фрицлер Я.В., Шуваев А.Н.</i>	144

## Содержание

### РАЗВИТИЕ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ В РОССИИ И МИРЕ

<i>Цзиннатти А.А.<sup>1</sup>, Владимиров И.Е.<sup>1</sup>, Степанова Е.А.<sup>1</sup>, Федотов Ю.А.<sup>2</sup>, Шейно И.Н</i>	146
НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГРЫЖЕВЫХ СЕТОК	
<i>Шариков Р.В., Тенчурин Т.Х.</i>	148
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТОВОГО ПОТОКА ОТ ЗНАЧЕНИЙ СИЛЫ ПОТОКА ЖИДКОСТИ	
<i>Шачнева Е.А., Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А</i>	150
ПОИСК РЕЛЕВАНТНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИСТОЧНИКОВ ПРИ ПОМОЩИ СКРЫТОГО СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА	
<i>Шишкина А.А.</i>	152
ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ОСЛАБЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В АППАРАТАХ СЛУХОПРОТЕЗИРОВАНИЯ	
<i>Шишкина А.Ф.</i>	154
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИКИ СПОНДИЛОЛИСТЕЗА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММ-СЛАЙСЕРОВ	
<i>Щеглов Б.О., Багрянцев В.Н., Атарщиков С.А., Андреев Н. В.</i>	156
ИЗМЕРЕНИЕ СИГНАЛОВ НЕЙРОМЕДИАТОРОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ЗОНЕ НЕЙРОАКТИВАЦИИ	
<i>Яковлев А.Н., Манжурцев А.В., Ахадов Т.А., Семенова Н.А.</i>	158

Содержание

**Ядерная физика и технологии,**  
**теоретическая физика и астрофизика**

NEUTRONIC STUDY OF USING NANO FLUIDS AS A PRIMARY COOLANT TO VVER-440 REACTOR BY USING SERPENT CODE <i>Abdullah. H., Smirnov A.D., Tikhomirov G. V.</i>	161
MODELLING OF THE MOLTEN SALT FAST REACTOR USING CODE SERPENT <i>Ashraf. O., Smirnov A.D., Tikhomirov G. V</i>	163
MODELLING TRANSMUTATION OF LEAD NUCLEI IN ULTRAPERIPHERAL COLLISIONS AT THE LHC <i>Dmitrieva U.A., Pshenichnov I.A</i>	164
AUTOMATION OF COUPLED NEUTRONIC THERMO-HYDRAULIC CALCULATION <i>Kaprinayova K., Smirnov A.D, Tikhomirov G.V.</i>	166
A STUDY ON THE SENSITIVITY OF MONTE CARLO METHOD IN MEASURING THE EFFECT OF RADIAL AND AXIAL BURNUP ON CRITICALITY AND NUCLIDE GENERATING IN VVER-1000 UGD FUEL ASSEMBLY USING SERPENT <i>Khrails R.A., Saldikov I.S., Smirnov A.D., Tikhomirov G.V.</i>	168
STUDY OF THE NONUNIFORMITY OF SCINTILLATOR TILES FOR HIGHLY GRANULAR CALORIMETERS <i>Korpachev S.S., Chadeeva M.V., Rusinov V.Y., Tarkovskii E.I., Bobchenko B.M.</i>	169
PROPERTIES OF GALAXIES GROUPS FROM CfA2 REDSHIFT SURVEY WITH NUMBER OF MEMBERS MORE THAN 50 <i>Lu Nhat Khanh</i>	171
INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE NUMBER OF THE PRIMARY COOLING CYCLE LOOPS ON THE ACCIDENT MITIGATION DURING LBLOCA <i>Mahmoud A., Mitrofanova O.V.</i>	173
VARIATIONS IN THE INTENSITY OF COSMIC RAY MUON BUNDLES ACCORDING TO DECOR DATA 2012-2017 <i>Yurina E.A., Bogdanov A.G., Dmitrieva A.N., Kokoulin R.P., Shutenko V.V.</i>	176
NUCLEOSYNTHESIS AT MAGNETOROTATIONAL INSTABILITIES IN SUPERNOVA EXPLOSION <i>Zhomartova A.Zh., Kondratyev V.N.</i>	178

## Содержание

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СТАЛЯХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ СКАНИРУЮЩЕЙ КОНТАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ И ДИФРАКЦИИ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ	
<i>Абу Газал А.А., Сурин В.И., Бокучава Г.Д., Папушкин И.В.</i>	179
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ЗАВОДСКИХ УСЛОВИЯХ	
<i>Абу Газал А.А., Сурин В.И., Алвахеба А.И.Бекетов В.Г., Дембицкий А.Е., Гусев Д.А.</i>	181
ВЛИЯНИЕ ВЫГОРАЮЩИХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ (GD и EU ) НА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВС РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000	
<i>Абу Сондос М. А., Демин В. М.</i>	183
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЙОНА АЭС В ИОРДАНИИ	
<i>Алалем Е.А., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И., Федоров П.И.</i>	185
РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫЛЕТА ЧАСТИЦ ИЗ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК СФЕРИЧЕСКОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМ	
<i>Атовуллаев Т.А., Кузнецова М.Е.</i>	186
ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ПОРИСТОГО ТЕЛА К ОПИСАНИЮ ГИДРОДИНАМИКИ ШЕРОХОВАТЫХ КАНАЛОВ	
<i>Балберкина Ю.Н., Федосеев В.Н., Корсун А.С., Писаревский М.И.</i>	188
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АЭС ПРИ ПЕРЕХОДЕ С 12 -НА 18-МЕСЯЧНЫЙ ЦИКЛ ОБСЛУЖИВАНИЯ	
<i>Белякова Н.О., Амантурлиева Ю.Ж., Фролова М.А.</i>	190
ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЁРОВ ДЛЯ НАСТРОЙКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС	
<i>Володин В.С., Толоконский А.О.</i>	192
РЕГИСТРАЦИЯ ОДИНОЧНЫХ МЮОНОВ ТЕЛЕСКОПОМ УСТАНОВКИ TAIGA-IACT	
<i>Волчугов П.А. от коллаборации TAIGA</i>	194
РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБЫТИЙ С ВЫСОКОЙ МНОЖЕСТВЕННОСТЬЮ В ДРЕЙФОВЫХ КАМЕРАХ	
<i>Воробьев В.С., Задеба Е.А.</i>	195
РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРОВ ВВЭР ОТ ТЕМПЕРАТУРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ТОПЛИВЕ И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ КСЕНОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ	
<i>Выговский С.Б., Груздов Ф. В., Аль Малкави Р.Т.</i>	197

## Содержание

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА ИЗОТОПОВ $^{175}\text{Yb}$ и $^{177}\text{Lu}$	
<u>Голубева К. В., Попов Ю.С.</u>	199
МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ПОТОКОВ НЕЙТРОНОВ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ СОБЫТИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПАМЕЛА	
<u>Горячева В.С., Воронов С.А., Михайлов В.В.</u>	201
ИЗУЧЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ МЯСА И МОЛОКА В МОНГОЛИИ	
<u>Даваадорж Ш., Удалова А.А.</u>	203
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ОТ ПУЧКОВ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ	
<u>Данилова Д.К., Тищенко А.А., Стриханов М.Н.</u>	205
ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	
<u>Ерофеев И.А., Крюков И.С., Савин В.И., Сурин В.И.</u>	207
РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И РЕСУРС ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРА ПИК ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПРОГРАММЕ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ	
<u>Ефимов Е.И., Л.Д. Тебелев, С.Р. Фридман, Г.А. Фирсов</u>	209
РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ	
<u>Ефремов В.В., Субботин С.А., Бландинский В.Ю</u>	211
ЗАПУСК УЧАСТКА ПО СОЗДАНИЮ ДЕТЕКТОРОВ BULK MICROMEGAS НА БАЗЕ ОИЯИ	
<u>Завазиева Д.Т., Гонгадзе А., Минашвили И., Сотенский Р.В., Гонгадзе Л.А.</u>	213
ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И КРОВОТЫЕ НОРЫ С МАГНИТНЫМ И АНТИ-ДИЛАТОНЫМ ЗАРЯДАМИ	
<u>Захарова К.Н</u>	215
ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ АНАЛИЗАТОРЕ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (МАВР)	
<u>Зернышкин В.А., Маслов В.А., Пеннионжкевич Ю.Э</u>	217
НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКОГО ТОПЛИВА В РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ	
<u>Зорькин А.И., Беденко С.В., Украинец О.А., Кнышев В.В.</u>	219
ИСТОЧНИК УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ	
<u>Иванов А.В., Лямкин В.А.</u>	220

## Содержание

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ПРОТЕКАЮЩЕЙ ВНЕ ТВЭЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА РЕАКТОРА ПИК ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ	
<i>Игаев А.Ю., Ефимов Е.И., Фирсов Г.А.</i>	222
РАСЧЕТ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТВЭЛОВ РЕАКТОРА ПИК	
<i>Игаев А.Ю., Фирсов Г.А., Ефимов Е.И.</i>	224
АНИЗОТРОПИЯ ПОТОКА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, ИЗМЕРЕННАЯ ПО ГРУППАМ МЮОНОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ НЕВОД	
<i>Ижбулякова З.Т.</i>	226
ПОИСК ОПТИЧЕСКИХ ВСПЫШЕК В КВАДРАТАХ ОШИБОК НЕЙТРИННЫХ И ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВЫХ АЛЕРТОВ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТЬЮ МАСТЕР	
<i>Ишмухаметова Ю.В.</i>	228
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ НА УСТАНОВКЕ ИРЕН	
<i>Каназатова Г.К., Борзаков С.Б., Храмко К.</i>	230
ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА С ПЛУТОНИЙ-ТОРИЕВЫМ ТОПЛИВОМ	
<i>Каражелевская Ю.Е., Левченко Ю.В., Терехова А.М., Зевякин А.С.</i>	232
НОВАЯ МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАЛОРИМЕТРА СПЕКТРОМЕТРА «ПАМЕЛА»	
<i>Клейменова С.О., Михайлов В.В.</i>	233
ТЕМПЕРАТУРА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИСПЕРСИОННОГО ТОРИЙСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА	
<i>Кнышев В.В., Шаманин И.В., Беденко С.В., Мендоса О., Зорькин А.И., Украинец О.А.</i>	235
СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИШЕНЕЙ ДЛЯ НАРАБОТКИ МОЛИБДЕНА	
<i>Колмыков В.Ю., Зевякин А.С., Фомин Р.В., Соболев А.В.</i>	236
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МЕХАНИЗМОВ СТАРЕНИЯ И ВЛИЯНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СТАРЕНИЕМ НА РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ АЭС	
<i>Королев М.Ю., Свириденко Ю.В.</i>	238
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА	
<i>Кудрявцева А.С., Годес А.И.</i>	240



## Содержание

ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКОГО ТЕПЛОвого ПОТОКА ОТ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОвыДЕЛЕНИЯ <i>Кузьменков Д.М., Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А</i>	242
ПОИСК МАССИВНЫХ НЕЙТРИНО В ЭКСПЕРИМЕНТЕ NA62 (CERN) <i>Курочка В. Л.</i>	244
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ДЛЯ НАРАБОТКИ ИЗОТОПОВ <i>Левченко Ю.В., Каражелевская Ю.Е., Терехова А.М., Зевякин А.С., Лазаренко Г.Э</i>	246
ПРОБЛЕМЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРИЯ В РЕАКТОРЕ ТИПА ВВЭР В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЕ ЯЭ <i>Локтаев К.В., Бландинский В.Ю., Субботин С.А</i>	248
МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ПОЗИТРОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ <i>Лукина С.С., Михайлов В.В., Леонов А.А.</i>	250
СУПЕРСИММЕТРИЧНЫЕ ТЕОРИИ С НАРУШЕННОЙ ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНОСТЬЮ: СУЩЕСТВОВАНИЕ, ЕДИНСТВЕННОСТЬ, ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ <i>Маракулин А.О</i>	252
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА ТИПА БН-800 <i>Матвиенко М.А., Прец А.А., Зорькин А.И.</i>	254
МУЛЬТИАНОДНЫЙ ГАЗОВЫЙ СЧЕТЧИК ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКОВ СВЕРХНИЗКИХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ НА УСКОРИТЕЛЕ ИЯИ РАН <i>Мельников А.А., Гаврилов С.А.</i>	256
УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЦИКЛИЧЕСКОМ УСКОРИТЕЛЕ-НАКОПИТЕЛЕ С ФОКУСИРОВКОЙ ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ <i>Мельников С. А</i>	258
ФОНОВОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ В СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ <i>Михайлова А.В</i>	260
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ЛЕГКИХ ЯДЕР В d- 9Be ВЗАИМОДЕЙСТВИИ <i>Мицук В.В., Зуев С.В., Каспаров А.А., Конобеевский Е.С., Мордовской М.В</i>	262

## Содержание

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМНОЖЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В КОРИУМЕ <i>Молоскин А.Е., Парамонова И.Л.</i>	264
КАЛИБРОВКА СЦИНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ TUNKA- GRANDE <i>Монхоев Р.Д. от коллаборации Тунка</i>	266
ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ОТКЛИКА ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОГО ТРЕКЕРА ЭКСПЕРИМЕНТА SHiP ДЛЯ РЕАЛИСТИЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ FairSHiP <i>Насыбуллин С.А.</i>	267
ПОИСК НЕЙТРИННОГО СИГНАЛА ОТ КИЛОНОВОЙ GW170817 ПРИ ПОМОЩИ ДЕТЕКТОРА VOREXINO <i>Нугманов Р.Р.</i>	268
ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОЙ МАТРИЦЫ ДЯТ НА ОСНОВЕ Zr-Al ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Пермикин А.А., Чурсин С.С., Долматов О.Ю.</i>	270
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТ ТЕНЗОРА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ, ДВИЖУЩЕГОСЯ В АНИЗОТРОПНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ <i>Писаревский М.И., Федосеев В.Н., Корсун А.С., Балберкина Ю.Н.</i>	271
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕКОВ АНТИПРОТОНОВ И АНТИДЕЙТРОНОВ В ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ КАЛОРИМЕТРЕ СПЕКТРОМЕТРА ПАМЕЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА <i>Роденко С.А, Троицкая И.К., Майоров А.Г, Малахов В.В.</i>	273
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОФОНОВОЙ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ГРАФИТА ИНТЕРКАЛИРОВАННОГО АТОМАМИ МЕТАЛЛОВ И МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА <i>Романенко В.С., Ахматов З.А., Хоконов А.Х., Гангапшев А.М., Кузьминов В.В.</i>	274
ВАКАНСИОННОЕ РАСПУХАНИЕ СТАЛИ 12X18N10T <i>Русяева К. А.</i>	276
ПРОВЕРКА МОДУЛЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА GEANT4 СРАВНЕНИЕМ С ТОЧНЫМИ ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ <i>Савченко А.А., Тищенко А.А., Сергеева Д.Ю., Стриханов М.Н.</i>	279

## Содержание

РАЗРАБОТКА БЛОКА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ГАММА-СКАНЕРА С АНТИКОЛЛИМАТОРОМ <i>Самойлова М. А., Игнатов С. М., Потапов В. Н</i>	281
ДЕТЕКТОР НЕЙТРИНО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РЕАКТОРЕ СМ-3 <i>Самцев И.В., Иванов А.В</i>	283
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СВЕТОВОХОДА И КИНЕТИКИ СВЕЧЕНИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ МОЛИБДАТА КАЛЬЦИЯ САМОО <sub>4</sub> ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА AMORE <i>Семичева М.А</i>	285
РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ВДОЛЬ РАДИУСА ТОПЛИВНОЙ ТАБЛЕТКИ <i>Сорбат Д.М.</i>	287
ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИИ С РАЗГЕРМИТИЗАЦИЕЙ ПЕРВОГО КОНТУРА РЕАКТОРА СКД <i>Степанченко К.П., Авдеев Е.Ф, Кудрявцева А.С</i>	291
ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА ИОНОСФЕРУ ЗЕМЛИ В 24-М ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ <i>Сыроватский С.В., Веснин А.М., Едемский И.К, Воейков С.В, Живетьев И.В.</i>	294
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 08Х18Н10Т КОРПУСА РЕАКТОРА ПИК <i>Таблев Л.Д., Ефимов Е.И., Фридман С.Р.</i>	297
К ВОПРОСУ О ПОИСКЕ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ИЗВЕСТНЫХ РАДИО ПУЛЬСАРОВ И РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ГАММА ПУЛЬСАРОВ <i>Тимиркеева М.А., Малов И.Ф</i>	300
ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИ ПОМОЩИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЭКРАНОВ НА ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ИЯИ РАН <i>Титов А.И., Гаврилов С.А</i>	302
РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С РЕАКТОРОМ ТИПА ВВЭР ПО ПРОГРАММЕ ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРА В ГПК ВТОРОГО КОНТУРА НА БАЗЕ СЛОЖНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ <i>Ткачев К.М., Королев С.А., Толоконский А.О.</i>	304

## Содержание

АНАЛИЗ 27-ДНЕВНЫХ ВАРИАЦИЙ ПОТОКА ГКЛ В2007-2008 ГГ. НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА РАМЕЛА <i>Троицкая И.К., Майоров А.Г., Малахов В.В., Роденко С.А</i>	306
АНАЛИЗ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК IV ПОКОЛЕНИЯ <i>Украинец О.А., Кузнецова М.Е., Атовуллаев Т.А</i>	308
МОДЕЛЬ МУЛЬТИСЕКТОРНОГО СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА В GEANT4 <i>Унатлоков И.Б.</i>	309
ДЕТЕКТОР NEW CHOD ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА NA62 (CERN) <i>Федотов С.А., Куденко Ю.Г</i>	311
СПЕКТРАЛЬНО-УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СГУСТКОВ В СХЕМЕ КОМПТОНОВСКОГО ЛАЗЕРА <i>Фещенко А.М., Тищенко А.А., Стриханов М.Н.</i>	313
ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ СКАНЕР ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ МЮОННОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS <i>Филиппов К.А., Воробьев К.А., Доронин С.А., Коновалов С.П., Романюк А.С., Смахтин В.П., Смирнов С.Ю., Сосновцев В.В., Тетерин П.Е., Тихомиров В.О., Шоа М., Щукин Д.А.</i>	315
РАЗРАБОТКА АМПУЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТВЭЛОВ РЕАКТОРА БРЕСТ-ОД-300 В КАНАЛЕ РЕАКТОРА МИР.MI <i>Фирсов Г.А., Ефимов Е.И., Игаев А.Ю., Тебелев Л.Д</i>	317
РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЗАТРАТ НА АЭС ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ УДЛИНЕННЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ РЕАКТОРОВ ВВЭР- 1000(1200) <i>Хашламун Таха М.Р., Выговский С.Б.</i>	319
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ВОКРУГ СКВАЖИНЫ ПРИ НАЛИЧИИ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА <i>Хисамов А.А., Хабибуллин И.Л.</i>	321
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ И АМАД $\alpha$ -АКТИВНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ <i>Хусейн Ю. Н., Припачкин Д. А., Будыка А. К.</i>	323

## Содержание

ОЦЕНКА ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ МЕТОДОМ МИНИМИЗАЦИИ ФУНКЦИИ ОШИБКИ	325
<i>Хусейн Ю. Н., Припачкин Д. А., Будыка А. К.</i> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИНЕРЦИОННЫХ РАЗДЕЛИТЕЛЕЙ	327
<i>Хусейн Ю. Н., Припачкин Д. А., Будыка А. К.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ГЛУБОКОВОДНОГО НЕЙТРИННОГО ТЕЛЕСКОПА ВАКАЛ-GVD	329
<i>Шелепов М.Д.</i> КОНЦЕПЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛУННОЙ БАЗЫ С ТЕРМОЭМИССИОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ	331
<i>Шлепкина Е.С.</i> КОНСТАНТЫ САМОДЕЙСТВИЯ БОЗОНОВ ХИГГСА В СУПЕРСИММЕТРИЧНЫХ РАСШИРЕНИЯХ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ	333
<i>Штанов В.М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЯЭУ ВВЭР-1200 ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СУТОЧНЫХ МАНЕВРЕННЫХ РЕЖИМОВ	196А
<i>Выговский С.Б., Аль Малкави Р.Т.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ПРОВОДИМОСТИ ГАЗОВОГО ЗАЗОРА В ТОПЛИВЕ РЕАКТОРОВ ВВЭР ОТ ГЛУБИНЫ ВЫГОРАНИЯ НА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ	198А
<i>Выговский С.Б., Груздов Ф. В., Аль Малкави Р.Т.</i>	

## Содержание

### **IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность**

HEXAPOD WALKING ROBOT GAIT SYNTHESIS AS THE PROBLEM OF MULTIDIMENSIONAL OPTIMIZATION <i>Ankudinov V.Kh., Maksimov A.V., Starkov S.O.</i>	336
EFFICIENCY ANALYSES OF SNOOP FILTERS <i>Antonova A.M., Aryashev S.I., Barskyh M.E., Zubkovsky P.S</i>	339
HYPERCOMPLEX MODELS FOR CONTROL SYSTEM TYPICAL UNITS <i>Klimanova E.V., Maximov A.V., S.O. Starkov S.O</i>	341
ONLINE CLUSTERING ON UNCERTAIN DATA STREAM <i>Makhmutova A.Z.</i>	344
ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СОБЫТИЙ АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ <i>Беляев И.П., Старков С.О.</i>	346
ОБУЧЕНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ КВАДРОКОПТЕР НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ДИНАМИЧЕСКИ РАСШИРЯЮЩИХСЯ ВЫБОРКАХ <i>Бушнев К.Р.</i>	348
МЕТОДИКА ПОПОЛНЕНИЯ ТЕЗАУРУСА ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛОССАРИЯ <i>Гаврилкина А.С.</i>	349
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ ПО АСТРОНОМИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ <i>Горбунов А.А., Исаев Е.А., Самодуров В.</i>	351
РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЦЕНОК ЧАСТОТ И ДОБРОТНОСТЕЙ КОРНЕЙ <i>Довгополая Е.А.</i>	353
СРАВНЕНИЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ПО ПАРАМЕТРА АЛГОРИТМО ПОИСКА ЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИИ <i>Егоров А.Д., Дивицкий Д.Ю., Долгих А.А.</i>	355
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СКВАЖИН <i>Кадочникова Е.С., Вершинин В.Е.</i>	356
РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ FET <i>Казаков Д.А., Армер А.И.</i>	358

## Содержание

ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ И СТРУКТУРИЗАЦИИ ДОКУМЕНТАЛЬНЫХ ПОТОКОВ <i>Капочкин С.В., Зарипова Е.В.</i>	359
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ ПОИСКА ДЛЯ СЛОЖНЫХ ПОИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ <i>Монанков К.В.</i>	362
АКУСТИЧЕСКИЙ КАНАЛ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ ЧЕРЕЗ ЖЁСТКИЙ ДИСК <i>Овечкин В.Н., Носов Л.С.</i>	364
СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ТАКТИКЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА СО СТАБИЛЬНОЙ СТЕНОКАРДИЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ <i>Омуров А.Н., Никитаев В.Г.</i>	366
ФРАКТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ИТ-ТЕХНОЛОГИЯХ ОБРАБОТКИ ПОТОКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ <i>Подкопаев А.В., Мышев А.В.</i>	368
ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ВЕЙВЛЕТ_БАЗИСА В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С OFDM-СИГНАЛАМИ НА ПРИМЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ 5G <i>Рычков Е.Н., Пирогов Ю.А.</i>	370
ФРАКТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ПОТОКОВ ДАННЫХ <i>Турицын М.И., Мышев А.В.</i>	372
КОМПЬЮТЕРНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ ДЛЯ ЕЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ <i>Файзуллин Н.Ф., Рамазанов А.Ш., Садретдинов А.А.</i>	374

# **Инженерно-физические технологии для биомедицины**



**THE EFFECT OF DIAMOND CRYSTALLITES  
ORIENTATION ON LOCAL CONDUCTIVITY OF SURFACE  
LAYERS GRAPHITIZED BY EXCIMER LASER**

***Dezhkina M.A.*<sup>1,2</sup>, *Komlenok M.S.*<sup>1,2</sup>, *Zavedeev E.V.*<sup>1,2</sup>,  
*Khomich A.A.*<sup>2,3</sup>, *A.S. Orekhov*<sup>4,5</sup>, *A.S. Orekhov*<sup>5,6</sup>, *V.I. Konov*<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*NRNU MEPhI, Russia*

<sup>2</sup>*A.M. Prokhorov GPI RAS, Russia*

<sup>3</sup>*V.A. Kotelnikov IREE RAS, Russia*

<sup>4</sup>*University of Eastern Finland, Finland*

<sup>5</sup>*NRC "Kurchatov Institute", Russia*

<sup>6</sup>*Shubnikov IC, RAS, Russia*

+7(985)127-05-23, *m.a.dezhkina@gmail.com*

Nowadays laser radiation is one of the most perspective ways of diamond processing in order to create photonic and optoelectronic devices. This technique allows to produce conductive paths into diamond bulk or on its surface due to the formation of graphitic structures. For example, the ionizing radiation detectors that are created by laser graphitization of polycrystalline diamond find their practical application [1]. In this case characteristics of polycrystalline diamond grains should not be taken into account during the process of fabrication because of much bigger size of conductive spots. In addition, successful using of laser-induced graphitization is demonstrated in work [2], where optical element for THz range based on diamond-graphite metamaterial is created. The width of graphite-like conductive paths is close to the typical size of diamond crystallites. Therefore, the role of the effect of grains orientation on the parameters of graphitized layers becomes considerable. In particular, the main goal of work is to determine correlation between diamond crystallites orientation and conductivity of graphitized structures formed on them. Spreading resistance technique is used to identify this dependence. This method allows to examine conductivity of microscopic structures unlike two-probes technique.

Electrical characterization of modified area of polycrystalline diamond is provided by scanning probe microscope (INTEGRA Spectra, NT-MDT Co.) working in spreading resistance mode. This method is based on measuring current between conductive silicon

cantilever and ground electrode placed at the end of graphitized line. It allows to identify local resistance (applied voltage +2,5 V). Orientation of crystallites is determined by an electron backscatter diffraction method.

Figure 1a) illustrates the border between two crystallites with (111) and (001) orientation. Map presented in Figure 1b) shows current distribution on the graphitized surface of two crystallites. These figures provide evidence of the difference in current signal amplitude between graphitized layers formed on different grains: conductivity of modified layer on (001) crystallite is higher than on (111). It can be explained by suggestion that graphitization occurs along certain direction, determined by the orientation of the diamond grain, and by anisotropy of conductivity of graphite.

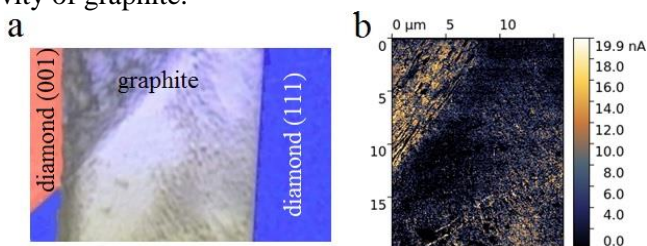


Fig. 1. Map of current distribution on diamond surface (a); the image of surface in the measuring area combined with orientation map (b)

Thus, we demonstrate the effect of diamond crystallites orientation on conductivity of graphitized structures modified by laser on the diamond surface. It has practical importance in design of ohmic contacts to photonic and optoelectronic elements based on diamond-graphite structures. It is planned to continue research of dependence of graphitized material optical properties on crystallite orientation.

This work was supported by RFBR (16-32-60179) and by the Competitiveness Enhancement Program of the MEPH.

#### References

1. M. Pacilli, P. Allegrini, M. Girolami, G. Conte, E. Spiriti, V.G. Ralchenko, M.S. Komlenok, A.A. Khomic and V.I. Konov. Polycrystalline CVD diamond pixel array detector for nuclear particles monitoring. *Journal of Instrumentation*. Vol.8. C02043 (2013).
2. M.S. Komlenok, S.P. Lebedev, G.A. Komandin, A. Piqué and V.I. Konov. Fabrication and electrodynamic properties of all-carbon terahertz planar metamaterials by laser direct-write. *Laser Physics Letters*. Vol.15. Issue 3. 036201 (2018).

## HOW IS THE FAT FRACTION AND BONE MINERAL DENSITY RELATED? <sup>1</sup>H MRS STUDY

Ivantsova A.S.<sup>1,3</sup>, Menshchikov P.E.<sup>1,2</sup>, Semenova N.A.<sup>1,2</sup>, Akhadov T.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CRIEPST, Moscow, <sup>2</sup> ICP RAS, Moscow, <sup>3</sup>NRNU MEPhI, Moscow  
+79853515955, merkush@ro.ru

Osteoporosis is skeletal disease characterizing by a decrease in bone mineral density (BMD). It leads to an increased risk of fractures, for instance compression vertebral fracture (CVF) [1]. Dual-energy x-ray absorptiometry (DXA) and quantitative CT (QCT) are commonly accepted methods for assessing of the disease.

Spectra were obtained by localized proton magnetic resonance spectroscopy (<sup>1</sup>H MRS) from the cancellous bone (CB) of the vertebra (Fig. 1A). Figure 1(B) shows a typical spectrum from the CB. There are two main peaks in the spectrum: water peak ( $\delta = 4,67$  ppm) and peak from bulk methylene protons of fat ( $\delta = 1,20$  ppm). The fat fraction index (FF) was calculated using equation (1).

$$FF = \frac{I_{fat}}{I_{fat} + I_{water}} \quad (1)$$

Previously FF was shown to increase in adult patients with osteoporosis as compared to healthy volunteers [2]. The aim of the study was to explore the relationship between FF and BMD in children.

Twenty patients ( $11.1 \pm 2.1$  years) with CVF were studied. QCT was used to determine the BMD [ $\text{mg} / \text{cm}^3$ ] in vertebrae L3, L4 using Philips Brilliance 16. <sup>1</sup>H MR spectra (STEAM, TE = 12.8ms, TR = 3000 ms, voxel size =  $20 \times 15 \times 10$ mm) were acquired from CB of lumbar vertebrae L3, L4 (Fig. 1A)) using MRI Philips AchievaTX 3.0 T.

Correlation analysis revealed significant inverse correlation link ( $p < 0.05$ ) between FF and BMD for all vertebrae of all patients (Fig.1C). Patients were classified into two groups: 8 mild CVF patients (1-2 damaged vertebrae) and 12 severe CVF patients (more than 2 damaged vertebrae). Intergroup analysis revealed significant increase FF and a reduction of BMD in patients with severe CVF as compared to mild CVF.

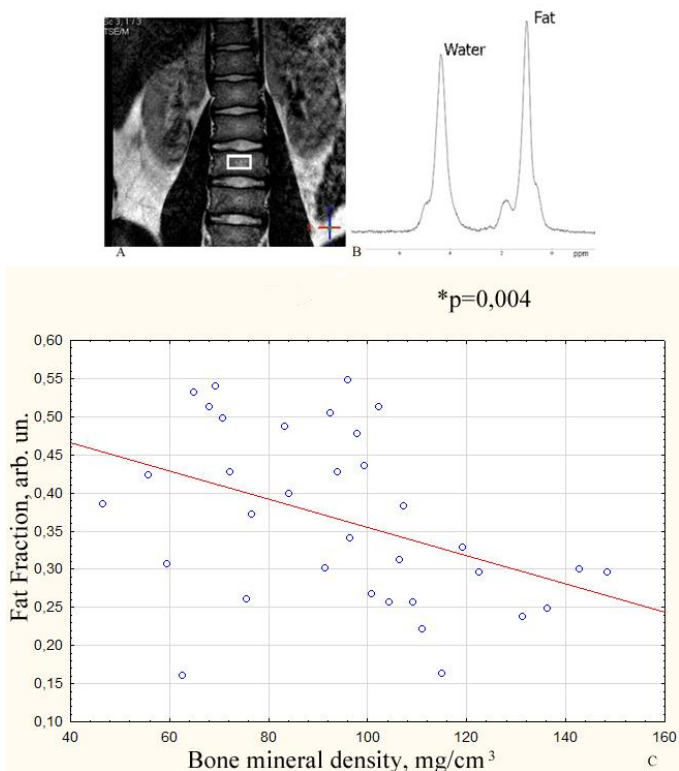


Figure 1. Location of the voxel for <sup>1</sup>H MRS (A). A typical spectrum (B). Correlation coefficient ( $R = -0.51$ ) between FF and BMD values (C).

Revealed significant negative correlation between FF and BMD in children without osteoporosis suggests that the processes of increasing FF in the bone marrow and lowering the BMD are parallel. Therefore, <sup>1</sup>H MRS could be good alternative to QCT and DXA without radiation dose in osteoporosis detection.

#### References

1. EFFO and NOF (1997) Who are candidates for prevention and treatment for osteoporosis? *Osteoporos Int* 7:1
2. Griffith JF et al. Vertebral bone mineral density, marrow perfusion, and fat content in healthy men and men with osteoporosis: dynamic contrast-enhanced MR imaging and MR spectroscopy. *Radiology* (2005) 236(3):945–51

Инженерно-физические технологии биомедицины  
**NEUROTRANSMISSION DISTURBANCES FOLLOWING ACUTE  
PEDIATRIC CONCUSSION.**

***Menshchikov P.E.*<sup>1,2</sup>, *Ivantsova A.S.*<sup>1,3</sup>, *Semenova N.A.*<sup>1,2</sup>, *Melnikov I.A.*<sup>1</sup>  
*Akhadov T.A.*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CRIEPST, Moscow

<sup>2</sup> ICP RAS, Moscow

<sup>3</sup>NRNU MEPhI, Moscow

+79031203033, [peeterem@gmail.com](mailto:peeterem@gmail.com)

Mild Traumatic Brain Injury (mTBI) or concussion heads the list of different types of TBI in amount of cases. The highest-risked group are children. Typically, there are not any MRI and CT-visible anatomical structure abnormalities of brain with concussion, but mTBI can result in a number of physical, cognitive and emotional disruptions<sup>1</sup>. These symptoms may be associated with disturbances of excitatory and inhibitory neurotransmission processes in central nervous system (CNS). Localized proton magnetic resonance spectroscopy (<sup>1</sup>H MRS) is a unique non-invasive method for quantification of metabolic concentrations in all human tissues and organs. Extension of MRS with edited MEGA-PRESS pulse sequence [1] can estimate *in vivo* concentrations of major neurotransmitters: inhibitory-gamma-Aminobutyric acid (GABA) and excitatory-glutamic acid (Glu). Thus, the main aim of this work was to estimate changes in *in vivo* cerebral GABA and Glu concentrations after acute mTBI using <sup>1</sup>H MRS.

Two groups of participants were included in the study: patients group consisted of 11 children hospitalized in the Clinical and Research Institute of emergency Pediatric Surgery and Trauma, Moscow (5 males, 6 females, mean age - 16±2 years, mean time between trauma and MRI examination 40±20 hours, Glasgow Coma Score (GCS) - 15) with acute phase of mTBI; group of healthy volunteers consisted of 8 children (2 males, 3females, mean age - 16±1 years) without history of any TBIs and other cerebral pathologies. All investigations were performed on scanner Phillips 3.0T Achieva TX. GABA (TE/TR=80ms/1900ms, NSA – 8, 12ms editing pulses applied at 1.9 ppm and 1.5 ppm , 42 averages.) edited spectra were obtained using

MEGA-PRESS sequence. REST slabs was used for suppressing unwanted water signal from ventricles. Corresponding PRESS spectra with the same parameters (TE/TR=80ms/1900ms, NSA – 64) were also performed for obtaining NAA, Cr, Cho and unsuppressed water signal intensities. All Voxels in size of 25×25×30mm were located in the frontal lobe. (fig.1.). Participants and their parents signed an informed consent.

The main effect on the [GABA] was found ( $Z=2.03$ ,  $p<0.05$ ), with the patients having higher [GABA] as compared to the control group (36%) (Fig. 2). Absolute concentrations of NAA+NAAG, tCho, tCr and glutamate were unchanged.

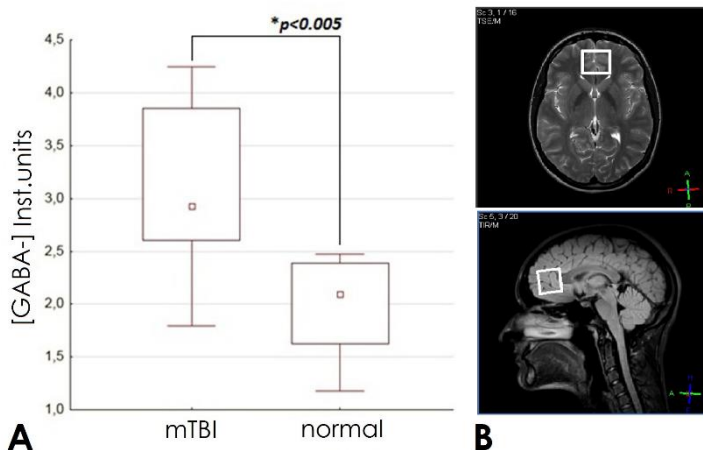


Figure 1. (A) Significant GABA increase after acute mTBI (B) VOI placement

This study for the first time revealed increased cerebral [GABA] as well as disorders in the [GABA]/[GLX] balance in the pediatric acute mTBI. The most likely cause of [GABA] increase is growth of free pool of GABA (non-related to GABA receptors). Postconcussion changes of neurotransmitter revealed in the present study could be promising for understanding of functional consequences of MRI negative TBI

#### References

1. Mesher M, et al. Simultaneous in vivo spectral editing and water suppression. NMR Biomed. 1998; 11(6):266-272.

## ROBUST SEGMENTATION TOOL FOR *IN VIVO* SINGLE VOXEL AND 2D <sup>1</sup>H MRS OF HUMAN BRAIN.

Menshchikov P.E.<sup>1,2</sup>, Ivantsova A.S.<sup>1,3</sup>, Semenova N.A.<sup>1,2</sup>, Akhadov T.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CRIEPST, Moscow

<sup>2</sup> ICP RAS, Moscow

<sup>3</sup>NRNU MEPhI, Moscow

+79031203033, peeterem@gmail.com

Localized proton magnetic resonance spectroscopy (<sup>1</sup>H MRS) is a unique non-invasive method for quantification of metabolic concentrations in all human tissues and organs. In contrast to the traditional NMR experiment, MRS uses medical magnetic fields (lower than 7Tesla) and large field of views (MR spectra are acquired using MRI scanners). Using such little fields decreases SNR, thereby increasing time of study or volume of interest (VOI) size. MRS is classified into 2 types: single voxel (spectra are acquired from one VOI) and 2D MRS (spectra are acquired from several voxels in one VOI). Average voxel volumes are 3000 and 1000 ml in the case of single voxel and 2D spectroscopy respectively. Such big volume include different tissue contaminants of brain – grey (GM) and white (WM) matter as well as cerebrospinal fluid (CSF). Due to the differences in H<sub>2</sub>O and metabolic concentrations as well as different T<sub>2</sub> and T<sub>1</sub> relaxations times. Therefore, main objective of this study was creation robust method for quantification GM, WM and CSF contamination in voxels in case of 2D spectroscopy.

First solved task was writing MATLAB tool for creation of binary masks of chosen voxels in VOI (binary mask – image where pixels which belongs to voxel =1, other pixels =0). 3D T<sub>1</sub> images and geometry information of spectra were used as input data. Correctness of the program was tested using experimental phantom spectra (FOV-200×200mm; voxels size 40×40×30mm) and images (3DT<sub>1</sub> sagittal, TR/TE: 8.1ms/3.7ms, flipangle 8°, 179 slices) Binary mask completely coincides with voxel geometry (fig.1).

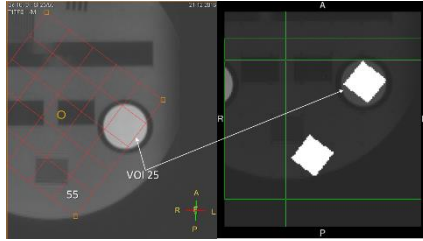


Figure 1. Comparison of binary mask and initial voxel geometry

FSL routine can segment T1 images into three contaminants – GM, WM, CSF using FAST algorithm. Resulted segmented images are presented on the fig.2.

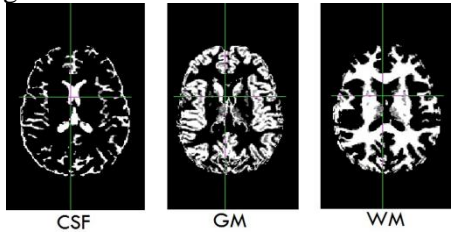


Figure 2. Segmented images.

The last step is to quantify contaminant using *fslstats* function in the FSL routine with created mask.

This study for the first time revealed robust method for tissue segmentation spectroscopic in the voxel. Quantified GM, WM, CSF percentages can now be used for correction factors in the calculation of metabolic concentrations (1).

$$[M] = \frac{S_{met} \times (f_{GM} \cdot R_{H_2O, GM} + f_{WM} \cdot R_{H_2O, WM} + f_{CSF} \cdot R_{H_2O, CSF})}{S_{H_2O} (1 - f_{CSF}) \cdot R_M} \times \frac{\#H_{2O}}{\#H_{met}} [H_2O]$$

Calculated in this way concentrations do not introduce errors, associated with different tissue contamination of voxel, in the statistical analysis.

### References

1. Ross BD/ 1H MRS in acute traumatic brain injury. J Magn Reson Imaging. 1998 Jul-Aug;8(4):829-40.



**SIMULATION OF  $^{23}\text{Na}$  BIRDCAGE RF COIL  
FOR SMALL ANIMAL  $^{23}\text{Na}$  MRI**

**Sadykhov E.G.<sup>1</sup>, Pirogov<sup>2</sup> Yu.A., Belyaev<sup>1</sup> V.N.**

<sup>1</sup> *National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation  
+7(906)039-52-78, forward1292@gmail.com*

In our previous study [1], we conducted the *in vitro* MR experiment at 7.05T preclinical MR scanner Bruker Biospec 70/30 USR, which consisted in  $^{23}\text{Na}$  MRI of the phantoms with different NaCl and gelatine concentrations and measurement of  $^{23}\text{Na}$   $T_1$  and  $T_2$  parameters. We used the modified proprietary transceiver surface RF coil originally tuned to the Larmor frequency of  $^{13}\text{C}$  nuclei. The  $^{23}\text{Na}$  MR images obtained with this coil are characterized by high SNR in regions near the coil but also high non-uniformity because of inhomogeneous magnetic transmit ( $B_1^+$ ) field generated by the surface coil. It is known that volume birdcage coils are good solution when high  $B_1^+$  homogeneity is necessary. Another advantage of such volume coils is the possibility to scan the whole body in single MR experiment.

In this work, we aimed at simulation of the transceiver birdcage high-pass quadrature RF resonator tuned to the resonance frequency of  $^{23}\text{Na}$  nuclei at 7.05T constant magnetic field ( $f_{\text{res}} = 79.57$  MHz). The simulation was performed in the CST Microwave Studio software [2]. The coil geometrical parameters were chosen to fit the magnet core diameter, cover the whole body of small animal (rat, mouse) and have high filling factor: coil outer diameter = 10 cm, RF shield internal diameter = 12 cm, 8 rectangular copper rungs, rung length = 20 cm, rung width = 1 cm, end-ring segment width = 1 cm, copper foil thickness = 1 mm. The capacitance values for 16 fixed-value capacitors which have to be placed in the gaps on the end-ring segments between the rungs were defined using the BirdcageBuilder application [3]:  $C = 77.64$  pF. These capacitance values were introduced into the coil model in the CST. Two stimulation ports were set on one end-ring as shown in Fig. 1. These ports were used to send the electric signals to the coil with the phase shift =  $90^\circ$ . The simulation was carried out for two cases: empty coil and loaded coil. A uniform phantom containing 45 mM NaCl

solution was chosen as the load. The results of the simulation included surface current distribution, electric and magnetic fields generated by the coil, S-parameters, Q-factor, and also SAR distribution in case of the loaded coil. The coil was tuned to 79.57 MHz and matched to 50  $\Omega$  which is a typical characteristic impedance of coaxial cables used in MRI.

The simulation of RF coil allows us to optimize the process of coil development and save our time and resources. The simulation results obtained in this work will be used to build the  $^{23}\text{Na}$  transceiver birdcage high-pass quadrature RF coil for the purpose of study the sodium-dependent biochemical processes in small animals.

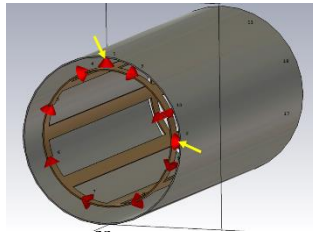


Fig. 1. View of the simulated  $^{23}\text{Na}$  birdcage coil with the RF shield. The red elements are discrete ports. The yellow arrows point out two external ports which are used for excitation. The other ports are used to be the fixed-value capacitors

## References

1. E. Sadykhov et al., “Sodium-23 magnetic resonance imaging,” in *II International Symposium on «Physics, Engineering and Technologies for Biomedicine»*, 2017, pp. 367–368.
2. A. A. Kurushin and A. N. Plastikov, *Design of microwave devices in CST Microwave Studio environment*. MEI, 2011.
3. C. L. Chin et al., “BirdcageBuilder: Design of Specified-Geometry Birdcage Coils with Desired Current Pattern and Resonant Frequency,” *Concepts Magn. Reson. (Magnetic Reson. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 156–163, 2002.

**EFFECT OF PARTICLE POLYDISPERSITY ON SPECIFIC  
ABSORPTION RATE OF ASSEMBLY OF MAGNETIC  
NANOPARTICLE CLUSTERS**

**Shershnev R.V.<sup>1,3</sup>, Rytov R.A.<sup>1</sup>, Usov N.A.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*MEPhI, Moscow*

<sup>2</sup>*IZMIRAN, Troitsk, Moscow*

<sup>3</sup>A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, *Obninsk*

*конт. тел. +7(910) 5977651, e-mail: RVShershnev@yandex.ru*

For successful application of magnetic nanoparticles in biomedicine, it is necessary to take into account the particle size distribution. In magnetic hyperthermia an important quantity is the specific absorption rate of clusters of magnetic nanoparticles in an alternating applied magnetic field. In addition to the magnetic-dipole interaction and temperature fluctuations of the particle magnetic moments, this value can be affected by the particle size distribution in the assembly of clusters of magnetic nanoparticles. Using the numerical solution of the stochastic Landau-Lifshitz equation, in this paper the specific absorption rate of a dilute assembly of clusters of magnetite nanoparticles is calculated taking into account all above mentioned factors.

It is shown that the intensity of the magneto- dipole interaction in a cluster is determined by the cluster filling factor

$$\eta = \frac{1}{V_{cl}} \sum_{i=1}^n V_i, \quad (1)$$

where  $n$  is the number of magnetic nanoparticles in the cluster,  $V_i$  is the volume of the  $i$ -th nanoparticle, and  $V_{cl}$  is the volume of the quasi-spherical cluster. In this paper, the dependence of the specific absorption rate of the magnetic nanoparticle clusters on the nanoparticle size distribution is investigated. As an example, Fig. 1 shows the log-normal distribution magnetic nanoparticle diameters, and Fig. 2 shows the corresponding low-frequency hysteresis loop of the assembly. The paper compares the magnetic properties of clusters of magnetite nanoparticles with different distribution functions of particle diameters, i. e. homogeneous and log-normal.

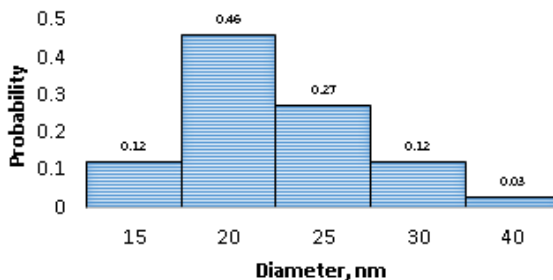


Fig.1. Log-normal size distribution of magnetite nanoparticles in a cluster.

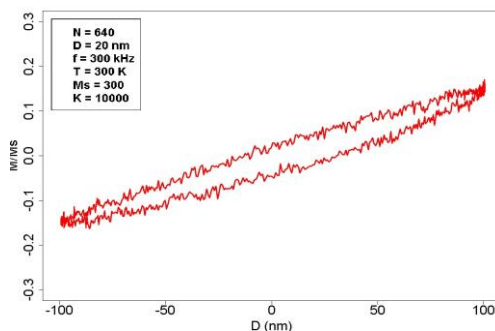


Fig.2. Low frequency hysteresis loop of the assembly of clusters of magnetite nanoparticles with log-normal distribution function, shown in Fig. 1.

### References

1. E.A. Périgo, G. Hemery, O. Sandre, D. Ortega, E. Garaio, F. Plazaola, and F. J. Teran. Fundamentals and advances in magnetic hyperthermia. Applied Physics Review. Vol. 2, P. 041302 (2015).
2. N. A. Usov. Low frequency hysteresis loops of superparamagnetic nanoparticles with uniaxial anisotropy. Journal of Applied Physics. Vol. 107, P. 123909 (2010).

**ANALYSIS OF CORTICOSPINAL TRACT DIFFUSION IN PATIENTS WITH EARLY STAGE OF SCHIZOPHRENIA: DIFFUSION TENSOR MAGNETIC RESONANCE IMAGING.**

***Ublinskiy M.V.*<sup>1,2</sup>, *Semenova N.A.*<sup>1,2</sup>, *Akhadov T.A.*<sup>1</sup>,  
*Menshchikov P.E.*<sup>1,2</sup>, *Manzhurtsev A.V.*<sup>1,2</sup>, *Melnikov I.A.*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Children's Clinical and Research Institute Emergency Surgery and Trauma*

<sup>2</sup>*Institute of Biochemical Physics Russian Academy of Sciences*

**Object:** Among various neurobiological models of schizophrenia, much attention is paid to structure and microstructure disturbances in brain white matter. The aim of this study is to research the most important pyramid pathway of the brain responsible for impulse transduction during motion regulation - corticospinal tract (CST) - using method of diffusion tensor imaging (DTI)

**Materials and methods:** The study was done in accordance to the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans. All participants signed an informed consent.

13 young (17 -27) male patients with schizophrenia (F20, ICD-10) and 15 mentally healthy age- and sex-matched subjects were analyzed. MRI data were obtained on Achieva 3.0T scanner (Philips) with DualQuasar gradient system and 8-channel radio-frequency receiver coil for the head. DT-images were acquired in the axial plane using echoplanar impulse sequence. Diffusion gradient were applied in 32 non-collinear directions.

Functional anisotropy (FA) and diffusion coefficient (DC) were measured in the following parts of CST in left and right hemispheres: motor area, radiate crown, posterior limb of internal capsule, cerebral peduncle, pyramids of the medulla oblongata.

**Results:** A decrease in the coefficient of fractional anisotropy in the posterior limb of the internal capsule and an increase in diffusion coefficient in the radiate crown and motor cortex were observed.

**Conclusion:** The results reflect different mechanisms of changes in water diffusion in various areas of the corticospinal tract: changes in nerve fiber microstructure in internal capsule (left hemisphere) and density decrease in motor cortex and radiate crown.

**KINETICS APPROACH IN THE STUDY OF  
NEUROBIOLOGICAL PROCESSES USING FUNCTIONAL  
MAGNETIC RESONANCE IMAGING AND SPECTROSCOPY.**

***Ublinskiy M.V.*<sup>1,2</sup>, *Semenova N.A.*<sup>1,2</sup>, *Akhadov T.A.*<sup>1</sup>,  
*Menshchikov P.E.*<sup>1,2</sup>, *Manzhurtsev A.V.*<sup>1,2</sup>, *Melnikov I.A.*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Children's Clinical and Research Institute Emergency Surgery and  
Trauma*

<sup>2</sup>*Institute of Biochemical Physics Russian Academy of Sciences*

Biochemical reactions in normal living cells are multistage chemical processes that take place in a stable steady state. Study of the dynamic system behavior and kinetics of system return to the initial stable steady state provides ample information on the process mechanism. The aim of this study is to combine the method of localization dynamic spectroscopy we developed with relaxation kinetics techniques using MRI methods (fMRI and NMR).

9 mentally and neurologically unimpaired men comprised test group (mean age was 22.1±1.9).

MRI data were performed on Achieva Philips 3.0 T scanner. The fMRI audio-stimuli (tone, 1 kHz frequency, 70—80 dB) were presented to the test subjects. The test subjects were instructed to press a special button with the right hand index finger upon the stimulus presentation. The paradigm of the study consisted of 210 dynamics, the number of target stimuli was 30. A spectroscopic voxel measuring 20'10'15 mm<sup>3</sup> was placed in the activation area.

Statistical analysis demonstrated that without a load all measured values are constant. The load effect is observed for two parameters: [Hb]/[dHb] (BOLD) and NAA. For [Hb] we observed three kinetically discriminable processes involving at least four kinetic stages. The variation of the NAA concentration follows similar kinetics.

Analysis has revealed six kinetically discriminable stages. The oxygen consumption activation processes are kinetically related to the concentration dynamics of the NAA as a neuronal marker. The developed approach reveals the multi-substrate character of the process and makes it possible to formulate hypotheses of the molecular response mechanisms.

## USE OF RESTING STATE FMRI IN ANALYSIS OF CEREBELLUM FUNCTIONAL CONNECTIVITY IN PATIENTS WITH MTBI.

*Ublinskiy M.V.*<sup>1,2</sup>, *Semenova N.A.*<sup>1,2</sup>, *Akhadov T.A.*<sup>1</sup>,  
*Menshchikov P.E.*<sup>1,2</sup>, *Manzhurtsev A.V.*<sup>1,2</sup>, *Melnikov I.A.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Children's Clinical and Research Institute Emergency Surgery and Trauma*

<sup>2</sup>*Institute of Biochemical Physics Russian Academy of Sciences*

### **Introduction**

Mild traumatic brain injury (mTBI) occupies one of the first places in children injuries. Patients with mTBI may suffer headache, dizziness memory loss and short-term loss of consciousness in acute stage of injury [1]. However, in patients with mTBI there is usually an absence of structural lesions revealed by MRI studies in particular. That's why mTBI neurobiological mechanisms are not fully understood. Resting-state functional MRI (rsfMRI) allows us to obtain new information on functional connectivity patterns of human brain. This technique is especially useful to reveal functional network disturbances in cases of MR normal-appearing structures.

Among all brain networks at the resting state, the Default Mode Network (DMN) is the most widely studied network [2]. The revealed important role of DMN in cognitive processes and its disruption in different neurocognitive disorders makes the study of DMN functional integrity in patients with mTBI very useful.

The aim of this study is to examine functional connectivity in normal-appearing cortex in acute period of mTBI using rsfMRI.

### **Material and methods**

34 MR negative participants were studied in age from 12 to 17 years (mean age – 14.5 years). Group of patients consisted of 17 children with mild traumatic brain injury in acute stage. 17 age-matched healthy volunteers comprised control group. All studies were performed at Phillips Achieva 3.0T MRI scanner using 32-channel head coil. fMRI studies were conducted using EPI BOLD (TR = 3000, TE = 30, EPI factor = 240, slice thickness = 4 mm, NSA = 1, 80 dynamics, total duration – 4 minutes). For each participant fMRI performing was repeated twice. fMRI data were processed using functional connectivity toolbox CONN [3]. Seed-based analysis was performed in order to

reveal disturbances in functional connectivity. Statistical processing was performed using software package Statistica 12 using Mann-Whitney criterion to evaluate statistical intergroup differences.

### **Results**

No statistically significant differences in correlation strength between DMN parts were observed in two groups. Seed-based analysis revealed absence of statistically significant neural correlations ( $p = 0,39$ ) between DMN and cerebellum structural parts: inferior and superior semilunar lobules and flocculus. While in control group analysis showed statistically significant correlations ( $p < 0,05$ ) in connectivity of respective areas.

### **Discussion:**

One of the most common symptoms of mTBI is dizziness as a result of impaired movements coordination [4]. Cerebellum plays an important role in motor control in human brain. Flocculus as an essential cerebellum part plays an important role in the vestibulo-ocular system which is involved in the learning of basic motor skills in the brain [5]. Flocculus aids in the synchronization of eye and motor functions in order for the visual field and the motor skills to function together [6]. Flocculus functional integrity could suffer as a result of brain concussion. Our results show that mTBI appears to be a possible reason of connectivity malfunction in normal-appearing flocculus.

### **Conclusion**

Our study demonstrate disrupted functional connectivity between DMN areas and flocculus. This fact may indicate a functioning violation in normal-appearing cerebellum as a result of concussion in patients with mTBI. Resting-state functional MRI could serve as a potential marker for mTBI improved analysis.

#### References:

1. Bigler E.D. Neuropsychology and clinical neuroscience of persistent post-concussive syndrome. *J Int Neuropsychol Soc* 2008;14(1):1–22.
2. Mayer A.R. Functional connectivity in mild traumatic brain injury. *Hum Brain Mapp* 2011 32, 1825–1835.
3. Whitfield-Gabrieli S. Conn: a functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks. *Brain Connect.* 2012; 2(3): 125-41.
4. Fife, T.D. Persistent vertigo and dizziness after mild traumatic brain injury. *Ann N Y Acad Sci.* 2015 Apr; 1343: pp 97-105.
5. Ito, M. Cerebellar Control of the Vestibulo-Ocular Reflex--Around the Flocculus Hypothesis. *Annual Review of Neuroscience.* 1982 5: 275–96.
6. Lisberger, S. The neural basis for learning of simple motor skills. *Science.* 1988 242 (4879): 728–35.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ НАКОПЛЕНИЯ МЕТИОНИНА В ГЛИОБЛАСТОМАХ С ПОМОЩЬЮ ПЭТ- КТ

Агафонова А.В.<sup>1</sup>, Пронин И.Н.<sup>2</sup>, Хохлова Е.В.<sup>2</sup>, Постнов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск

<sup>2</sup> Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии  
имени академика Н. Н. Бурденко, Москва  
8-910-600-76-06, [a.v.agafonova@inbox.ru](mailto:a.v.agafonova@inbox.ru)

**Введение.** На сегодняшний день одним из наиболее информативных методов визуализации метаболизма опухолей головного мозга является ПЭТ-КТ с использованием <sup>11</sup>C-метионина в качестве радиофармпрепарата (РФП). Целью данной работы является исследование динамики накопления метионина в глиобластоме (WHO grade IV), а также сравнение с накоплением в здоровой ткани головного мозга.

**Методы.** Сбор данных проводилось в динамическом режиме. Каждое изображение соответствовало времени сканирования в 5 мин (первая точка 10-15 минут после введения РФП, вторая 15-20 минут), что позволило получить два 3Д изображения мозга пациента в разные моменты времени. Для определения накопления РФП выделялись несколько зон интереса – 1 см<sup>3</sup>, 10 см<sup>3</sup>, полный объем опухоли. В каждой зоне интереса были оценены такие параметры, как среднее значение концентрации метионина, стандартизованная величина поглощения SUV, SUV<sub>max</sub>, и отношение накопления в опухоли к здоровой ткани (T/N). Также определялся общий объем опухоли. Были проанализированы ПЭТ-КТ данные 22 пациентов. У21 одного из них имело место повышенное накопление метионина. Четырём пациентам ПЭТ-КТ было сделано до хирургического вмешательства, восемнадцати после. Один человек смог пройти сканирование как до, так и после хирургического вмешательства (рис.1).

**Результаты.** Было установлено, что ПЭТ-КТ сканирование с <sup>11</sup>C-метионином можно проводить через 10 мин. после введения РФП пациенту. На данный момент, стандартным временем начала исследования является 20 мин.

Также было обнаружено, что SUV здоровой ткани увеличивается по мере возрастания SUV опухоли (рис.2). Было установлено, что T/N коррелирует с SUV опухолевой ткани.

Зависимости SUV здоровой ткани и SUV опухолевой ткани от полного объема опухоли, а также взаимосвязи между SUV здоровой ткани и параметра T/N не было обнаружено.

**Выводы.** Возможно проведение исследования с <sup>11</sup>C-метионином в клинических условиях через 10 минут после инъекции РФП. Изменение SUV здоровой ткани с ростом поглощения в опухоли может быть связано с изменением общего метаболизма ГМ при прогрессировании заболевания.

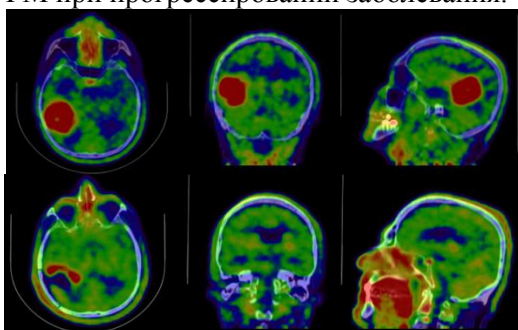


Рис.1 ПЭТ-КТ изображения пациента до и после операции

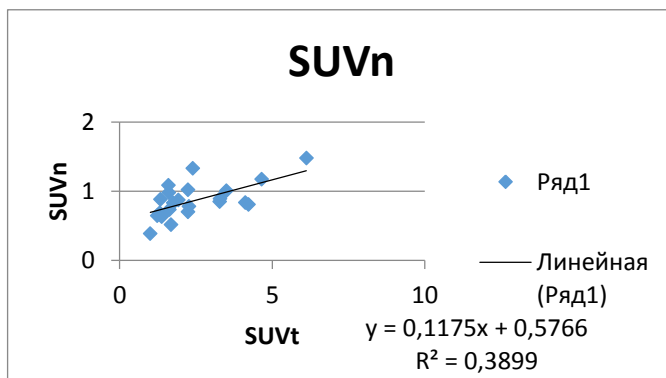


Рис. 2 Зависимость между SUV здоровой ткани и опухолью

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ БИОДЕГРАДАЦИИ  
НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ  
МЕТОДОМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ  
ПРИМЕНЕНИЯ В БИОМЕДИЦИНЕ**

***Алыкова А.Ф.,<sup>1</sup> Завестовская И.Н.,<sup>1</sup> Тимошенко В.В.<sup>1,2</sup>***

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет  
"МИФИ", Инженерно-физический институт биомедицины,*

*<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М. В.  
Ломоносова, Физический факультет, e-mail: [waiste15@bk.ru](mailto:waiste15@bk.ru)*

В работе методом спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) исследованы образцы нанокристаллического кремния различных размеров и морфологии после выдержки в водной среде, что позволило сделать следующие выводы: нанонити кремния со средними поперечными размерами 20-100 нм после выдержки в воде или 0,9% физрастворе в течение двух недель, не проявляют существенных изменений сигнала КРС, что указывает на устойчивость нанонитей к растворению: наночастицы мезопористого кремния с размерами нанокристаллов порядка 10 нм при нахождении образцов в воде в течение уже первых суток демонстрируют многократное уменьшение интенсивности КРС, сдвиг полосы и увеличение вклада аморфной фазы кремния, что свидетельствует об эффективном растворении; комбинационное рассеяние света от непористых нанокристаллов Si с размерами от 5 до 100 нм, полученных плазмохимическим и лазерно-аблированным методами [1], свидетельствует о частичном растворении наночастиц, приводящем к уменьшению общего числа и средних размеров наночастиц, при этом лазерно-аблированные наночастицы проявляют существенно более низкую скорость растворения, по сравнению с наночастицами, полученными плазмо-химическим методом, что можно объяснить более высокой концентрацией структурных дефектов для последних.

Полученные результаты позволяют оценить скорости растворения различных видов нанокремния, что важно при его использовании в биомедицине. Так, кремниевые нанонити, ввиду

их стабильности, могут быть использованы как элементы биосенсоров; наночастицы мезопористого кремния можно рекомендовать для целей экспресс-диагностики и терапии, а наночастицы, получаемые плазмо-химическим методом или методом лазерной абляции в жидкости, могут быть использованы как агенты для кратковременного и пролонгированного действия в целях и диагностики и терапии, то есть тераностики [2,3].

## Литература

1. A. V. Kabashin, V. Yu. Timoshenko. What theranostic applications could ultrapure laser-synthesized Si nanoparticles have in cancer. *Nanomedicine*, 11 (17): 2247-2250 (2016).

2. A. F. Alykova, I. N. Zvestovskaya, V. G. Yakunin, V. Yu. Timoshenko «Raman diagnostics of silicon nanocrystals dissolution in aqueous medium». *Journal of Physics: Conference Series*.— 2018.— январь.— Vol. 945.— P. 012002 [doi.org/10.1088/1742-6596/945/1/012002](https://doi.org/10.1088/1742-6596/945/1/012002).

3. Алыкова А. Ф., Завестовская И.Н., Тимошенко В.Ю. Оптические методы диагностики наночастиц кремния для применения в биомедицине // Физическое образование в вузах.— 2018.— март.— Т. 24, № 1С.— С. 128-131.

**РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПЛАНОВ IMRT ОПУХОЛЕЙ ПРОСТАТЫ, РЕАЛИЗУЮЩИХ МЕТОД «ОДНОВРЕМЕННОГО ИНТЕГРИРОВАННОГО БУСТА»**

**Артеменкова А.Е.<sup>2</sup>, Сухих Е.А.<sup>2</sup>, Федотов Ю.А.<sup>3</sup>, Шейно И.Н.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

<sup>2</sup>Томский областной онкологический диспансер

<sup>3</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
г.Москва, кафедра «Медицинская физика»  
+7 (925) 073-19-30, [artemenkova1995@mail.ru](mailto:artemenkova1995@mail.ru)

Онкологические заболевания стоят на втором месте по смертности во всем мире после сердечно-сосудистых заболеваний. Сейчас около половины онкологических пациентов при лечении заболевания проходят курсы лучевой терапии.

Достижение терапевтического эффекта в лучевой терапии достигается за счет проведения компьютерного планирования на основе полученных ранее диагностических данных, в т.ч. и томографических изображений. Для наилучшего результата подведение дозы осуществляется фракционно. Довольно распространённым методом доставки дозы было использование последовательного буста, когда на определенные области-мишени по решению врача-онколога предписывалась дополнительная доза ионизирующего излучения, которая подводилась дополнительными фракциями [1].

Внедрение терапевтических установок, осуществляющих конформную лучевую терапию и лучевую терапию с модуляцией интенсивности, сделало возможным подводить разные значения поглощенной дозы в разные мишенные объемы за одну фракцию облучения. Этот метод доставки дозы получил название одновременный (симультантный) интегрированный буст [2].

Выполнено сравнение планов лучевой терапии с использованием последовательного и одновременного интегрированного буста с использованием биологических целевых функционалов вероятности контроля над опухолью – TCR и вероятности осложнения в нормальных тканях – NTCP [3].

Литература

1. ICRU. Prescribing, recording and reporting photon beam therapy / Report 50. 1993. Bethesda, Maryland, U.S.A

2. II Петербургский онкологический форум «Белые Ночи – 2016». Сборник тезисов. М., 2016. – 467 с УДК 616-006(043.2) ББК 55.6 © «Конференс Медиа Групп», 2016 ISBN 978-5-9908516-0-3. – 168 с.

3. Emami B., Lyman J., Brown A., Coia L., Goiten M., Munzenride J.E., Shank B., Solin L.J., Wesson M. Tolerance of normal tissue to therapeutic radiation. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 1991, 21, No. 1, P.109–122.

## **НОВЫЕ КАТИОННЫЕ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРЫ: ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

***Ахлюстина Е.В.<sup>1</sup>, Меерович Г.А.<sup>1,2</sup>, Макаров В.И.<sup>2</sup>,  
Романишкин И.Д.<sup>2</sup>, Макарова Е.А.<sup>3</sup>, Тиганова И.Г.<sup>4</sup>,  
Лощенов В.Б.<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, Москва, <sup>2</sup> ИОФ РАН им. Прохорова, Москва,  
<sup>3</sup> ФГУП "ГНЦ "НИОПИК", Москва, <sup>4</sup> ФНЦЭиМ им. Н.Ф. Гамалеи,  
Москва,

+79151826294, [Katya\\_ahlyustina@mail.ru](mailto:Katya_ahlyustina@mail.ru)

Катионные фотосенсибилизаторы (ФС) на основе бактериохлоринов перспективны для антибактериальной ФДТ [1,2]. Положительный заряд улучшает их связывание с бактериями и препятствует агрегации молекул при высоких концентрациях, а также оказывает существенное влияние на фотофизические свойства ФС (поглощение, флуоресценция и время жизни).

Исследование фотофизических свойств и антибактериальной эффективности новых ФС на основе бактериохлорина (БхГ4, БхГ8 и БхА4) с разными количеством катионных заместителей и амфифильностью в зависимости от концентрации проводилось с целью оптимизации состава и рабочего диапазона концентраций ФС.

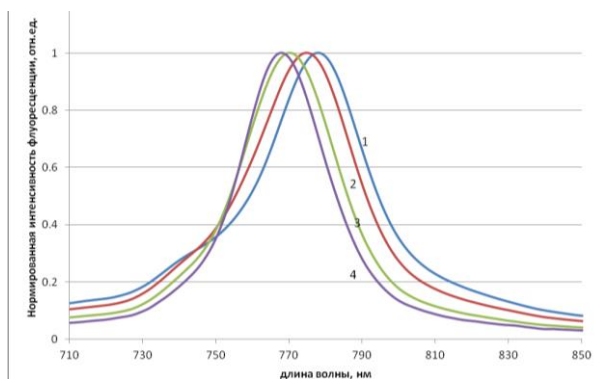


Рис. 1. Нормированные спектры флуоресценции ФС в зависимости от концентрации: 1) 200 мкМ, 2) 100 мкМ, 3) 30 мкМ, 4) 10 мкМ

Исследования показали, что в биологически важном диапазоне концентраций (до 30 мкМ) агрегация минимальна и не оказывает влияния на фотодинамическую эффективность.

Таблица 1. Результаты сравнительных исследований фотодинамической инактивации патогенных бактерий:

А) *P.aeruginosa*32

Фотосенсибилизатор	С, мкМ					МБК, мкМ
	5	2,5	,2	,1	,6	
БхГ8	-	-	-	+	+	6,2
БхГ4	-	-	-	+	+	6,2
БхА4	-	-	-	-	+	3,1

Б) *St.aureus*15

Фотосенсибилизатор	С, мкМ					МБК, мкМ
	,1	,6	,8	,4	,2	
БхГ8	-	-	+	+	+	0,8
БхГ4	-	-	-	+	+	0,4
БхА4	-	-	-	-	+	0,2

+ продолженный рост бактерий; - отсутствие бактерий.

МБК-минимальная бактерицидная концентрация

Новые ФС обладают высокой антибактериальной эффективностью против грамположительных (*Staphylococcus aureus*) и грамотрицательных (*Pseudomonas aeruginosa*) бактерий.

Литература

1. Г.А. Меерович, Е.В. Ахлюстина, И.Г. Тиганова и др., «Исследование фотосенсибилизатора для антибактериальной фотодинамической терапии на основе циклодекстриновой композиции метилового эфира 13<sup>3</sup>-N-(N-метилникотинил) бактериопурпуринимида», Biomedical Photonics, 2017, T. 6, No. 3, pp. 16–32;

2. Akhlyustina E.V., Meerovich G.A., Tiganova I.G. *et al.*, «Spectral-fluorescent research and optimization of the photosensitizer on the basis of cationic derivative of bacteriochlorin for antimicrobial photodynamic therapy», II International Symposium on «Physics, Engineering and Technologies for Biomedicine», Book of abstract, Moscow MЭPhI, 2017, pp. 126-127.



Инженерно-физические технологии биомедицины

**ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ  
ВНУТРИТКАНЕВОЙ БРАХИТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ  
ГОЛОВЫ И ШЕИ**

***Базовкина Е.В.<sup>1,2</sup>, Анохин Ю.Н.<sup>1</sup>, Борышева Н.Б.<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Россия;

<sup>2</sup> Медицинский Радиологический Научный Центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, Обнинск, Россия

Контактный телефон: +79206144977

email: [bazovkina.liza@ya.ru](mailto:bazovkina.liza@ya.ru)

Злокачественные опухоли полости рта представляют одну из сложнейших медико-социальных проблем в современной онкологии и относятся к группе социально значимых. При лечении больных с опухолями головы и шеи особое внимание заслуживает методика внутритканевой нейтронной терапии источниками  $^{252}\text{Cf}$  [1].

**Цель:** проведя дозиметрические расчеты облучения штырьковыми источниками  $^{252}\text{Cf}$ , проанализировать конечные данные и оценить эффект от лечения.

**Материалы и методы:** наша задача заключалась в анализе расчетных значений длительности облучения и поглощенной дозы; установлении соответствия между наличием лучевых реакций, а также причинами их проявления и схемами расположения источников; сопоставлении выбора схемы расположения источников с определенным диагнозом, при котором они применялись.

**Результаты:** Методом внутритканевой терапии с использованием источников  $^{252}\text{Cf}$  было пролечено 97 пациентов. В период с 2006 по 2013 год было составлено 175 планов. Мы отобрали из общего числа 20 случаев. После осуществления расчетов физических величин, необходимых для планирования внутритканевой нейтронной терапии, для 20 случаев расположения источников был проведен анализ, на основе которого мы сделали следующие выводы.

**Выводы:**

1. Величина длительности облучения зависит от ряда параметров, но определяющим фактором является доза нейтронов, заданная врачом. Данная зависимость имеет прямо пропорциональный характер. Зависимость мощности поглощенной дозы нейтронов на границе опухоли от длительности облучения является обратно пропорциональной

2. Лучевые реакции были зафиксированы в 35 % рассматриваемых случаев. После дистанционной лучевой терапии лучевые реакции обнаружили в 42.86 % случаев, после внутритканевой нейтронной брахитерапии – в 57.14% случаев. Относительно схем расположения источников лучевые реакции распределились следующим образом: «эллипс» – 57.14 %, «1 квадрат» - 28.57 %, «2 квадрата» - 14.29 %.

3. Рак боковой поверхности языка и слизистой оболочки щеки был пролечен схемой «эллипс» - 100%, рак нижней губы – схемой «квадрат» (100 %). Таким образом, выбор схемы происходит в соответствии с анатомическим расположением опухоли из соображений удобства.

### **Литература:**

1. Втюрин Б.М., Иванов В.Н., Иванова Л.Ф., Абдулкадыров С.А. Методика внутритканевой лучевой терапии опухолей радиоактивными препаратами  $^{60}\text{Co}$  и  $^{252}\text{Cf}$  способом последовательного ручного введения интрастатов и источников излучения // Обнинск, 1982

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИОГЛОБИНА С ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

***Борулева Е.А.<sup>1</sup>, Бутусов Л.А.<sup>2,3</sup>, Чудинова Г.К.<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

<sup>2</sup> ИОФ РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> РУДН, Москва Россия

89165123769, katrinboruleva@gmail.com

Детонационные наноалмазы (ДНА) – эффективные наноносители в системах доставки биологически активных веществ. Так же, они обладают оптимальной совокупностью физико-химических свойств и имеют самую низкую токсичность и высокую биосовместимость из всех углеродных наночастиц [1, 2]. Поэтому ДНА используются в лечении онкологий и создании биосенсоров, а в наномедицине - как система доставки лекарственных веществ [3].

Таковыми наночастицами можно модифицировать различные биомакромолекулы типа миоглобина, который отвечает за транспортировку кислорода к митохондриям в мышечных клетках.

Поэтому цель данной работы заключалась в исследовании взаимодействия биомакромолекулы миоглобина с детонационными наноалмазами.

Миоглобин растворялся в воде от концентраций  $10^{-4}$ М до  $10^{-13}$ М методом последовательного разбавления. Далее к образцам добавляли 20 мкл ДНА (размер 10нм) постоянной концентрации (4 мг/мл).

Методом флуоресцентной спектроскопии были получены спектры флуоресценции раствора миоглобина с ДНА, контрольные спектры чистого миоглобина и водного раствора наноалмазов. Изменения спектральных характеристик имели практически одинаковый вид для всех образцов, поэтому в качестве примера на рисунке 1 приведены спектры флуоресценции образца с концентрацией  $10^{-4}$ М.

Выявлено, что ДНА дают свой вклад во флуоресценцию белкового раствора, а именно происходит ее тушение, которое

сопровождается небольшим bathochromным смещением максимума флуоресценции.

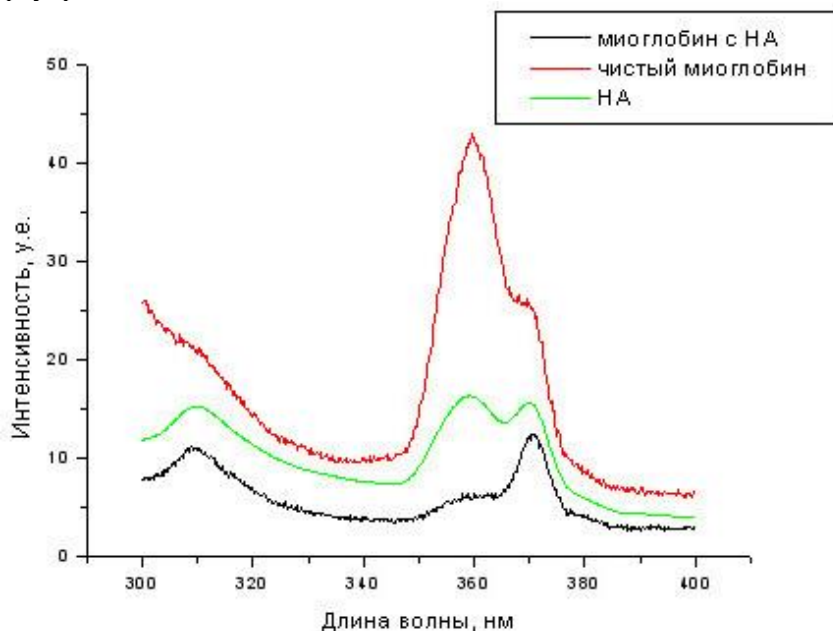


Рис.1. Зависимость длины волны от интенсивности раствора миоглобина с НА и контроль: порфирин без НА и водный раствор НА

#### Литература

1. R. Kaur, I. Badea. Nanodiamonds as novel nanomaterials for biomedical applications: drug delivery and imaging systems. J. Nanomedicine. Vol. 8. P. 203–220 (2013).
2. Ho D. Nanodiamonds: The intersection of nanotechnology, drug development and personalized medicine. Sci. Adv. Vol.1. Issue 7. P. e1500439 (2015).
3. A. Vul', O. Shenderova. Detonation Nanodiamonds: Science and Applications. Eds.:– Boca Raton: Pan Stanford Publishing. P. 346 (2013).

## ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИФФУЗИИ В ТАЛАМУСЕ У ДЕТЕЙ ПРИ ЛЧМТ ПО ДАННЫМ ДИФФУЗИОННО-ТЕНЗОРНОЙ ТРАКТОГРАФИИ

Васюкова О.Р.<sup>1</sup>, Манжурицев А.В.<sup>2,3</sup>, Ублинский М.В.<sup>2,3</sup>,  
Семенова Н.А.<sup>2,3,4</sup>, Ахатов Т.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИЯУ МИФИ, Москва

<sup>2</sup>ИБХФ РАН, Москва

<sup>3</sup>НИИ НДХиТ, Москва

<sup>4</sup>ИХФ РАН, Москва

### Введение

Вследствие лЧМТ могут возникать изменения на микроструктурном уровне, исследовать которые возможно с помощью диффузионно-тензорной трактографии (ДТТ) [1]. Задача настоящей работы – определить значения основных параметров диффузии FA (фракционной анизотропии) и ADC (среднего коэффициента диффузии) при лЧМТ по данным ДТТ.

### Материалы и методы

Исследование, в котором приняло участие 22 человека, 11 здоровых испытуемых и 11 пациентов с лЧМТ (острая стадия), возраст от 13 до 17 лет, проводилось на магнитно-резонансном томографе Philips Achieva dStream 3.0T с использованием квадратурной головной катушки SENSE 32-channel head. Применён протокол МРТ при ЧМТ, включающий в себя T<sub>2</sub>-, T<sub>1</sub>-, FLAIR, SWI и стандартные диффузионно-взвешенные изображения. Патологии по итогам его проведения не выявлено ни у одного из испытуемых.

ДТТ выполнялось в 32 неколлинеарных направлениях (*DTI high*). Полученные изображения были обработаны в программе Philips Intellispace Portal в разделе Fibertrack. Путём выделения интересующей области интереса (двух долей таламуса) были построены тракты (пучки нервных волокон), проводящие импульс к центрам серого вещества, проходящие через соответствующие доли таламуса, в трёх различных плоскостях. Получены значения параметров диффузии FA и ADC обеих долей таламуса. Рассчитаны <FA> и <ADC>. В результате для групп нормы и патологии были получены наборы значений FA и ADC трактов, проходящих через таламус. Для выявления достоверности

межгрупповых различий использован непараметрический критерий Манна-Уитни (программа STATISTICA).

### Результаты

Статистически достоверные изменения параметров диффузии в таламусе при лЧМТ выявлены для FA и ADC для трактов, проходящих через таламус по направлению «ноги-голова». Достоверных изменений этих параметров для трактов, проходящих в других направлениях, не выявлено.

На рисунке 1 представлена гистограмма, отображающая изменение параметра <FA> и <ADC> в таламусе в направлении «ноги-голова» (а и б, соответственно).

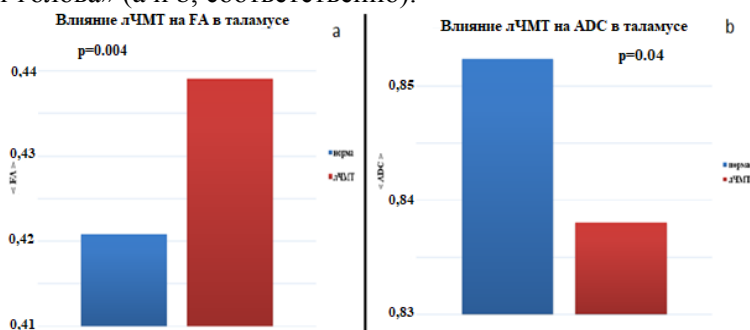


Рисунок 1. а) параметр <FA> в таламусе в направлении «ноги-голова», б) параметр <ADC> в таламусе в направлении «ноги-голова»

### Обсуждение

Меньшее значение <ADC> и повышенное значение <FA> у пациентов с лЧМТ в таламусе указывает на наличие микроструктурных изменений данной структуры. Поскольку таламус играет важную роль в регулировании сознания, бдительности, возбуждения и внимания [2], его микроструктурные изменения могут быть причиной клинических симптомов и отдалённых последствий у пациентов с лЧМТ.

### Список литературы

1. Shenton ME. A Review of Magnetic Resonance Imaging and Diffusion Tensor Imaging Findings in Mild Traumatic Brain Injury.// Brain Imaging Behav. 2012 June ; 6(2): 137–192.
2. Ye Duan. Thalamus Segmentation from Diffusion Tensor Magnetic Resonance Imaging // International Journal of Biomedical Imaging Volume 2007, Article ID 90216, 5 pages

## **ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКИ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ В ФГБУ ГНЦ ФМБЦ ИМ. А.И. БУРНАЗЯНА ФМБА РОССИИ**

***Владимиров И.Е., Конобеев И.А., Липенгольц А.А., Торкачев  
Е.С., Федотов Ю.А., Шейно И.Н.***

<sup>1</sup>*ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва,  
[ufedotov@mail.ru](mailto:ufedotov@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
г.Москва, кафедра «Медицинская физика» [domstroy96@gmail.com](mailto:domstroy96@gmail.com)*

Клинический опыт показывает, что эффективность лучевой терапии растёт с увеличением дозы излучений в опухоли. В тоже время, очевидно, что неудовлетворительные результаты лучевого лечения чаще всего связаны с фактической невозможностью подведения к опухолевому очагу необходимой дозы, не нанося значительного повреждения окружающим ее здоровым структурам. Если не будет разработан некий совершенно новый способ доставки дозы к онкологическому очагу, все совершенствования лучевой терапии будут результироваться только постепенно нарастающим и никак не радикальным положительным эффектом. Так же Проблема, присущая методам радиотерапии на внешних источниках - отсутствие избирательности. Пациенты с распространенным по телу опухолевыми заболеваниями невозможно лечить хирургическим методами и/или внешней лучевой терапией и/или брахитерапией. Для этого необходимо приблизить лекарство к болезни.

Одним из таких методов является радионуклидная терапия(рнт). Радиационное воздействие осуществляется не за счет внешнего облучения, как при традиционной дистанционной лучевой терапии, а путем введения непосредственно в организм пациента лечебного радиофармацевтического препарата, содержащего радионуклид. Лучевое воздействие реализуется непосредственно в зонах накопления РФП за счет испускаемых радионуклидами бета или альфа-частиц. Главным преимуществом РНТ является возможность селективного воздействия РФП на патологические очаги за счет органоспецифичности или биохимической тропности. Вторым важным преимуществом является то, что при однократном системном (пероральном или внутривенном) введении РФП удастся одновременно воздействовать сразу на все патологические очаги.

Радионуклидная терапия является одной из наиболее интенсивно развивающихся областей ядерной медицины в

радиационной онкологии. Постоянно расширяется круг заболеваний, для лечения которых может быть использована РНТ. Она не имеет альтернативы при неоперабельных и запущенных формах заболеваний, например, при тяжелых формах тиреотоксикоза у больных с большим риском оперативного лечения и непереносимости медикаментов, паллиативной терапии костных метастазов с выраженным болевым синдромом и др. РНТ имеет преимущества перед другими видами лучевой терапии за счет незначительных побочных эффектов и минимального повреждения нормальных тканей, возможности формирования в патологических очагах поглощенных доз, позволяющих добиться излечения отдаленных метастазов и диссеминированных опухолей. Простота технологии введения РФП, отсутствие необходимости использования дорогостоящего оборудования, существенное (в несколько раз) сокращение сроков госпитализации делают стоимость РНТ значительно ниже, чем стоимость традиционных технологий лучевого лечения. При амбулаторном лечении эта стоимость фактически определяется ценой приобретаемого радиофармпрепарата

Вместе с тем, в современном состоянии РНТ существует много нерешенных проблем. В отличие от радионуклидной диагностики и от традиционной лучевой терапии физико-математическое обеспечение РНТ значительно отстало от современных клинических требований и от разработки новых терапевтических радиофармпрепаратов. Известные схемы дозиметрического планирования РНТ и контроля поглощенных доз отличаются избыточной сложностью и пока не обеспечивают необходимую точность определения терапевтической активности РФП. Эффективность РНТ сильно зависит от индивидуальной вариабельности радиочувствительности не только у разных больных, но и между различными патологическими очагами в организме одного и того же пациента. Поэтому особенно актуальна разработка простых технологий индивидуального дозиметрического планирования РНТ. Серьезного внимания требуют также вопросы улучшения радиационной безопасности персонала, так как пока имеет место высокая лучевая нагрузка на персонал стационарных подразделений РНТ .



**СИЛАНИЗИРОВАННЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ  
КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ CDSE (ЯДРО) / ZNS/CDS/ZNS  
(ОБОЛОЧКА): НОВЫЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ ЗОНДЫ ДЛЯ  
БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

**Володин Д.О., Самохвалов П.С., Набиев И.Р.**

*Лаборатория нано-биоинженерии, Национальный исследовательский  
ядерный университет МИФИ (Московский инженерно-физический  
институт), 115409 Москва, Россия  
8-(915)-395-56-47, dmvolodin@inbox.ru*

В настоящее время ведутся активные работы по применению полупроводниковых нанокристаллов – квантовых точек (КТ) в реальных биологических приложениях и задачах. Интерес к ним обусловлен их более высокой фотостабильностью по отношению к классическим органическим красителям [1], и величинами квантового выхода флуоресценции, близкими к 100%.

Наиболее качественные КТ с точки зрения морфологии и флуоресцентных свойств получают при их синтезе в органической фазе, в результате чего поверхность КТ получается гидрофобной. По этой причине, после синтеза, для их адаптации к биологическим приложениям, поверхность КТ модифицируют гидрофильными лигандами. Альтернативным методом является **силанизация** - покрытие поверхности КТ гидрофильной оболочкой диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  [2], что дает лучшие результаты из-за того, что оболочка  $\text{SiO}_2$  является более прочной и предотвращает попадание токсичных металлов в окружающую среду или потерю коллоидной стабильности из-за десорбции или разрушения лигандов. Кроме того,  $\text{SiO}_2$  является сам по себе малотоксичным материалом и широко применяется в медицине. Однако, этот метод имеет существенный недостаток, а именно сложность контроля толщины получаемой оболочки  $\text{SiO}_2$ . Это обусловлено тем, что для количественного расчета реакций необходимо точное определение количеств вводимых в квантовых точек ядро/оболочка (например,  $\text{CdSe/ZnS}$ ), а обычно используемые для этой цели коэффициенты экстинкции известны только для ядер  $\text{CdSe}$ , и использование их для КТ  $\text{CdSe/ZnS}$  приводит к увеличению погрешности расчетов.

В настоящей работе, мы использовали КТ типа CdSe (ядро) / ZnS/CdS/ZnS (оболочка), коэффициент экстинкции которых был заранее измерен при проведении их синтеза в органической среде. Для проведения расчетов количеств реагентов использовали модель сферической КТ диаметром 6,5 нм, покрытой сферической оболочкой SiO<sub>2</sub> толщиной 5 нм.

Размеры полученных в серии реакций КТ были измерены методом динамического рассеяния света; результаты измерения их распределения по размерам (рис. 1А) хорошо согласуются с заданными в модели размерами. Из электронных микрофотографий полученных КТ с оболочкой SiO<sub>2</sub> видно, что квантовые точки покрыты оболочкой SiO<sub>2</sub>, и в каждой оболочке содержится только одна КТ (рис. 1Б). Однако, как также видно из рис. 1Б, наночастицы находятся в частично агрегированном состоянии и толщина оболочек SiO<sub>2</sub> меньше заданной. Мы связываем это с тем, что при подготовке образцов к электронной микроскопии происходит сильное травление оболочки SiO<sub>2</sub> раствором щелочи, в котором изначально производилось растворение наночастиц после наращивания слоя SiO<sub>2</sub>. Важным результатом является то, что полученные КТ с оболочкой SiO<sub>2</sub> обладают высокими фотостабильностью и квантовым выходом фотолюминесценции (>38%). В настоящее время нами ведётся работа по дальнейшему улучшению методов силанизирования КТ, которые позволят получать монодисперсные и стабильные КТ с высокими квантовыми выходами для биомедицинских приложений.

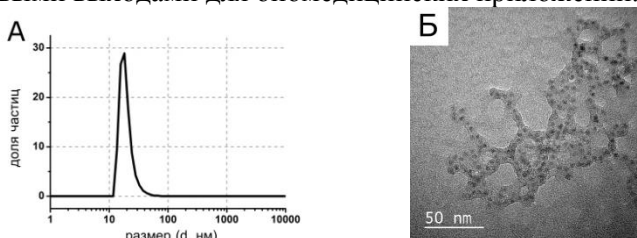


Рис.1 Распределение наночастиц по размерам (А) и электронные микрофотографии полученных образцов (Б)

### Литература

1. Samokhvalov P., Artemyev M., Nabiev I. Basic principles and current trends in colloidal synthesis of highly luminescent semiconductor nanocrystals //Chemistry-A European Journal. – 2013. – Т. 19. – №. 5. – С. 1534-1546.
2. Qian L. et al. High efficiency photoluminescence from silica-coated CdSe quantum dots //Applied Physics Letters. – 2009. – Т. 94. – №. 7. – С. 073112.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЁДА И СОДЕРЖАЩИХСЯ В НЁМ ПОЛИСАХАРИДОВ

Гаврилов С.А.

Астраханский государственный университет, Астрахань  
+79969120738 E-mail: [gawrilow1995@gmail.com](mailto:gawrilow1995@gmail.com)

В связи с проблемой наполненностью рынка мёда его фальсификатами возникает необходимость в создании устройств, способных проводить экспресс-анализ мёда, заключающийся в определении концентрации входящих в его состав полисахаридов.

Для решения поставленной задачи было предложено использовать спектральный метод в сочетании с компьютерной обработкой экспериментальных данных.

В нашей работе был применен Фурье ИК-спектрометр Frontier, на котором были сняты ИК-спектры поглощения образцов мёда с увеличивающимся процентным содержанием сахарозы рис. 1.

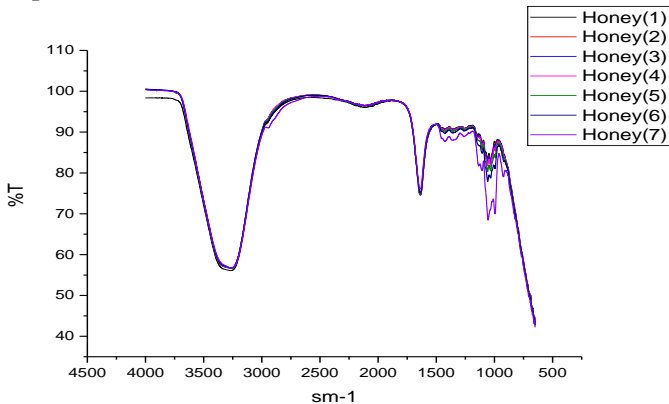


Рис.1. Спектры образцов мёда.

В результате проведенного эксперимента было замечено, что на ИК-полосе  $997\text{ см}^{-1}$  с увеличением количества сахарозы интенсивность начинает снижаться рис.2.

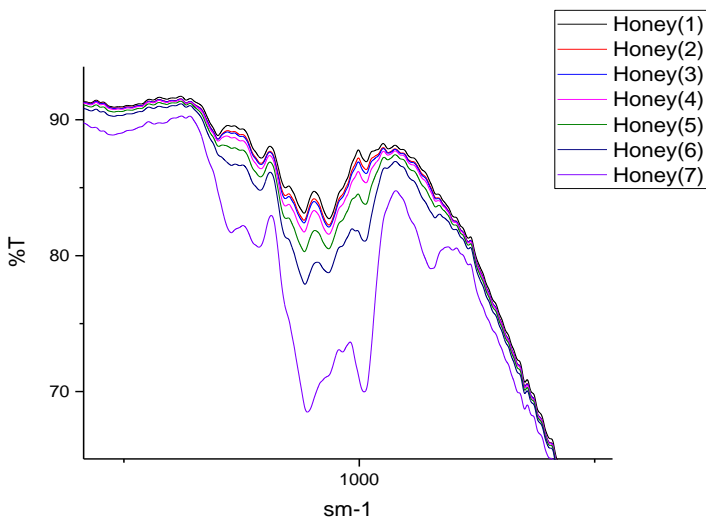


Рис.2. Спектры меда при различных концентрациях.

В дальнейшем планируется создать программное обеспечение рассчитывающая процентное содержание полисахаридов в меде.

### **Литература**

1. Николаева. Ю.Н. Мёд, прополис, перга и другие продукты пчеловодства от всех болезней [Текст]/ Ю.Н. Николаева,-М.: Рипол Классик, 2011.-192 с.

2. <https://znaytovar.ru/s/Ximicheskij-sostav-i-pishhevaya-ce4.html>

3. <http://www.apeworld.ru/>

Инженерно-физические технологии биомедицины

**МОДУЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АКТИВНОСТИ МОЗГА  
МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЛИЖНЕЙ ИК  
СПЕКТРОСКОПИИ**

***Грицаенко Д.И.<sup>1</sup>, Елизаров М.В.<sup>1</sup>, Грехов А.М.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва  
8(917)553-58-87 [karbe@yandex.ru](mailto:karbe@yandex.ru)*

Разработка новых устройств для исследований мозговой активности - актуальная задача для различных задач исследования мозга. Особенно интересны методы электроэнцефалограмм (ЭЭГ) и функциональной ИК-спектроскопии (ФИКС), которые отличаются простотой использования и стоимостью, в отличие от методов МРТ, КТ и ПЭТ. Сейчас основные исследования мозга проводят с помощью ЭЭГ, однако в последние годы, с уменьшением стоимости компонентной базы активно развиваются, технологии ФИКС. Благодаря узкому спектру поглощения в ближней ИК области, которое селективно поглощают молекулы гемоглобина, можно получать точную информацию о концентрации кислорода с глубины до 4-5 см и реконструировать карту активности префронтальной коры головного мозга [1].

С использованием современной компонентной базы микроэлектроники были разработаны модули управления, датчиков и лазерных диодов. Применение интегрированного микроконтроллера удалось уменьшить количество комплектующих, что снизило энергопотребление и уменьшило размер управляющей платы. Использование лазерных диодов и оптимизация режима их работы позволяет сделать прибор автономный и удобным в использовании. Использование модульной системы позволяет легко масштабировать систему, увеличивая количество излучателей и сенсоров в зависимости от поставленной задачи. В дальнейшем предполагается дополнение устройства электро- и магнито- стимуляции для расширения спектра исследований.

Кроме того, для улучшения точности измерений была применена методика коррекции DPF (differential path length factor), предложенная в работе [2]. В большинстве приборов используется приблизительное значение длины пути фотона, что приводит к накоплению ошибки измерений [3, 4]. В разработанном модуле для корректировки PDF используется третий лазерный диод с длиной волны 808 нм., который корректирует данные уменьшает расхождение рассчитанного и реального значения сигнала. На данный момент частично разработаны измерительная и программные части устройства. В дальнейшем, будут добавлены модули электро- и магнито- стимуляцией, что существенно расширит возможности разрабатываемого устройства.

#### Литература

1. Тучин В. В. Оптическая биомедицинская диагностика //Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. – 2005. – Т. 5. – №. 1.
2. Talukdar T., Diamond S. G., Moore J. H. Continuous correction of differential path length factor in near-infrared spectroscopy //Journal of biomedical optics. – 2013. – Т. 18. – №. 5. – С. 056001.
3. Горшков А. В., Кириллин М. Ю., Гергель В. П. Улучшенный метод Монте-Карло для моделирования распространения зондирующего излучения в задачах оптической диффузионной спектроскопии //Вестник Нижегородского университета им. НИ Лобачевского. – 2014. – №. 1-1 (1).
4. Gersten A. et al. Probing Brain Oxygenation Wave-forms with Near Infrared Spectroscopy (NIRS) //arXiv preprint arXiv:1612.08743. – 2016.

Инженерно-физические технологии биомедицины

**ВОЗМОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СРЕДНЕЙ ПОГЛОЩЕННОЙ  
ДОЗЫ В ОБЪЕМЕ**

***Дюженко С.С.<sup>1</sup>, Голованова О.Ю.<sup>2</sup>, Сабуров В.О.<sup>2</sup>,  
Трошина М.В.<sup>2</sup>, Ульяненко С.Е.<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск;*

*<sup>2</sup>Медицинский радиологический научный центр им. А. Ф. Цыба – филиал  
ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,*

*Обнинск;*

*+7 (900) 574 49 03; s.dujenko@gmail.com*

Протонная лучевая терапия является одним из передовых методов лечения онкологических больных. Наличие уникальных физических свойств, таких как пик Брэгга, у тяжелых заряженных частиц, позволяет формировать конформные дозовые распределения, при которых лучевая нагрузка на критические органы и окружающие опухоль ткани будет минимальна, а наибольшее значение поглощенной дозы будет достигаться в объеме мишени.

Для реализации перечисленных выше преимуществ необходимо проведение корректных дозиметрических измерений. На сегодняшний день по рекомендациям МАГАТЭ, изложенным в TRS-398[1], в качестве дозиметрического оборудования предлагается использовать плоскопараллельные и цилиндрические ионизационные камеры в водном фантоме. На практике, зачастую, возникает необходимость быстро оценить среднюю поглощенную дозу в некотором объеме, но возможность провести такую оценку с помощью ионизационной камеры ограничена сложностью геометрии реальных терапевтических мишеней и рабочим объемом камеры.

Целью данного исследования является разработка метода экспресс - оценки средней поглощенной в объеме дозы с применением аддитивных технологий, а также химических дозиметрических систем.

В рассматриваемом методе, для воспроизведения сложных геометрий мишени, применяли FDM технологию 3D печати. Для определения средней поглощенной дозы в объеме мишени

использовали высокочувствительную дозиметрическую систему FBX, созданную на основе ферросульфатного дозиметра Фрикке. Раствор FBX готовится согласно методике, изложенной в [2]. Источником протонов является терапевтическая установка «Прометеус» со сканирующим пучком (МРНЦ им. А.Ф. Цыба, г. Обнинск).

Объединив описанные выше технологии, можно создать компьютерную модель мишени, распечатать ее на 3D принтере и заполнить ее раствором FBX. Далее мишень облучается пучком протонов по составленному плану. После облучения дозиметр извлекается из камер, анализируется спектрофотометрическим методом, после чего на основе полученных данных рассчитывается средняя поглощенная в его объеме доза.

В настоящее время дозиметрическая проверка планов осуществляется с помощью ионизационных камер. Оценка средней поглощенной дозы таким методом занимает большое количество времени из-за необходимости последовательно размещать камеру в различных точках облучаемого объема и многократного повторения облучения в одной точке. Применяя предложенную методику, можно создавать модели терапевтических объемов пациента, заполненные дозиметрическим раствором и однократно облучив такую модель оценить среднюю поглощенную в объеме и дозу, что значительно сократит время проведения дозиметрических исследований. Создавая модели анатомических структур пациентов и комбинируя их с моделями терапевтических объемов, можно также оценить дозовые нагрузки на прилегающие здоровые органы и ткани, что приведет к улучшению качества лучевой терапии.

Кроме того, технология может быть использована в тренинговом режиме в подготовке персонала в области лучевой терапии для решения неординарных задач, персонифицированной медицины, а так же в радиобиологических исследованиях.

#### Литература

1. P. Andreo, D.T. Burns, K. Hohlfield, M.S. Huq, T. Kanai, F. Laitano, V.G. Smyth, S. Vynckier. Absorbed dose determination in external radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. Vienna: IAEA, P.137 (2000)
2. B.L. Gupta, K.R. Gomathy, Consistency of Ferrous Sulphate-Benzoic Acid-Xylenol Orange Dosimeter // International Journal of Applied Radiation and Isotopes. Vol.25. – P.509–513. (1974).



## ОТСЛЕЖИВАНИЕ УРОВНЯ КИСЛОРОДА В ТКАНЯХ *IN VIVO* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АННИГИЛЯЦИОННОЙ ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

Ишемгулов А.Т., Летута С.Н., Пашкевич С.Н.

Оренбургский государственный университет, Оренбург  
+79058106556, azamat.ischemgulov@yandex.ru

Произведена оценка изменения уровня кислорода в тканях мышей *in vivo* с использованием замедленной флуоресценции, вызванной аннигиляцией синглетного кислорода и триплет-возбуждённого зонда (далее АЗФ). Ранее было показано [1, 2], что АЗФ ксантовых красителей (эритрозин, эозин, бенгальский розовый) может быть индикатором изменения уровня кислорода в клетках и тканях *in vitro*. У лабораторных мышей на уровне задней лапки снимался верхний слой кожи с последующим окрашиванием и закрыванием стеклом для предотвращения доступа воздуха. На окрашенный участок подавалась серия возбуждающих импульсов с заданной частотой. Этим представлялась возможность оценивать изменение интенсивности АЗФ (следовательно, и уровень тканевого кислорода) во времени. Для варьирования содержания кислорода в тканях животному кратковременно (на 10 - 30 секунд) подавался воздух, обедненный или обогащенный кислородом. В ходе экспериментов обнаружено, что АЗФ для окрашенного участка плавно меняется в зависимости от подаваемой животному дыхательной смеси, что может свидетельствовать о применимости указанного метода для мониторинга уровня кислорода в тканях *in vivo*.

### Литература

1. M. Scholz, et al. Singlet-oxygen-sensitized delayed fluorescence in mammalian cells: a time-resolved microscopic approach. Photochem. Photobiol. Sci. Vol. 14(4). P. 700 (2015).
2. S.N. Letuta, et al. Delayed luminescence of erythrosine in biological tissue and photodynamic therapy dosimetry. J. Photochem. & Photobiol. Vol. 163. P. 232 (2016).

Инженерно-физические технологии биомедицины  
**РАВНОМЕРНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗЫ В  
РАСПРЕДЕЛЕННОМ ПИКЕ БРЭГГА УСТАНОВКИ  
«ПРОМЕТЕУС»**

***Кисель А.А.<sup>1,2</sup>, Наседкина Н.В.<sup>1,2</sup>, Исаева Е.В.<sup>2</sup>, Малахов Е.П.<sup>2</sup>,  
Голованова О.Ю.<sup>2</sup>, Соловьев А.Н.<sup>2</sup>, Бекетов Е.Е.<sup>2</sup>,  
Ульяненко С.Е.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава  
России, г. Обнинск, Россия  
ki7el@mail.ru, 8(953)3164954

Оценка относительной биологической эффективности (ОБЭ) – первостепенная задача доклинических испытаний установок для проведения лучевой терапии злокачественных новообразований.

Любая неопределенность в ОБЭ напрямую связана с неопределенностью в биологической дозе. Данные зарубежных исследований свидетельствуют о том, что ОБЭ сканирующих пучков протонов увеличивается с глубиной в распределенном пике Брэгга из-за возрастания ЛПЭ, достигая максимума в его дистальной части [1,2].

Целью данного исследования являлось получение данных о равномерности в ОБЭ по облучаемому объекту установки «Прометеус» (ЗАО «Протом»).

В качестве экспериментальной тест-системы была использована клеточная культура мышинной меланомы В16, рекомендованная при проведении доклинических исследований. Облучение проводилось на протонном комплексе «Прометеус», с использованием твердотельного фантома. Дозы облучения составили – 4, 6 и 8 Гр. Облучению подвергались культуральные флаконы с клеточным монослоем, заполненные средой (рис.1). Для оценки ОБЭ был использован метод клоногенной активности клеток.

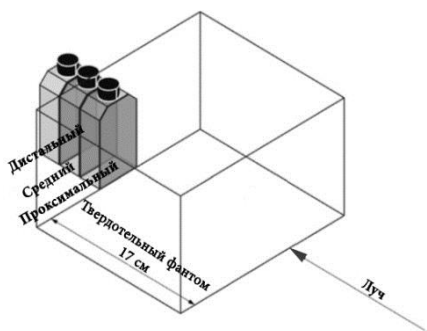


Рис.1. Расположение монослоев с клетками во время облучения

В ходе проделанной экспериментальной работы были лученные следующие данные, представленные в табл.1.

Табл. 1 – Данные по зависимости ОБЭ от глубины проникновения в тканеэквивалентную среду по данным клоногенной активности клеток V-16

Позиция относительно источника	Среднетрековое ЛПЭ, кэВ/мкм	ОБЭ <sub>10%</sub>
1	1,2±0,6	1,14±0,13
2	2,8±1,7	1,15±0,13
3	7,4±1,8	1,05±0,12

В отличие от ряда других установок для протонной терапии при данной постановке эксперимента эффект возрастания ОБЭ и, как следствие, биологической дозы в дистальной части не наблюдается.

#### Литература

1. J. Cuaron J., C Chang., Exponential increase in relative biological effectiveness along distal edge of a proton Bragg peak as measured by Deoxyribonucleic acid double-strand breaks. Int. J. Radiation Oncol. Biol. Phys. Vol. 95. N. 1. P.62-69 (2016).
2. A. Michaelidesova. et al., Relative biological effectiveness in a proton spread-out Bragg peak formed by pencil beam scanning mode. Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine. Vol. 40. N. 2. P.359–368 (2017).

## ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ПИГМЕНТНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ

***Кобелев С.А.<sup>1</sup>, Никитаев В.Г.<sup>1</sup>, Пронищев А.Н.<sup>1</sup>, Тамразова О.Б.<sup>2</sup>,  
Сергеев В.Ю.<sup>2</sup>, Поляков Е.В.<sup>1</sup>, Сельчук В.Ю.<sup>3</sup> Иванов Ю.Д.<sup>4</sup>***

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

<sup>2</sup>*Российский университет дружбы народов, Москва*

<sup>3</sup>*Московский государственный медико-стоматологический университет им.  
А.И.Евдокимова, Москва*

<sup>4</sup>*Институт биомедицинской химии им.В.Н.Ореховича, Москва  
конт. тел +7-906-795-06-17, e-mail, докладчика kobelevsemjon@gmail.ru*

Меланома (рак кожи) - заболевание, которое может быстро прогрессировать, в связи с этим актуальна задача его своевременного обнаружения. Применение методов цифровой обработки изображений может способствовать повышению точности диагностики меланомы при обследовании пациентов. Цель представляемой работы – разработка признаков пигментных новообразований кожи и исследование их информативности при автоматизированной диагностике меланомы.

Для проведения исследования были подготовлены две выборки изображений: 24 изображения с пигментным новообразованием и 70 изображений без него. Для описания распознаваемой области были использованы цветовые и текстурные признаки на основе цветовых моделей RGB и HSV. Всего был сформирован 91 признак.

Для оценки информативности признаков разработана программа на языке python с библиотекой «Scikit-learn». Был построен классификатор на основе решающего дерева (RandomForestClassifier).

По результатам обучения классификатора по подготовленным выборкам изображений была проведена оценка информативности сформированных признаков.

Результаты, полученные в работе могут быть использованы при разработке автоматизированных систем диагностики новообразований кожи при дерматоскопических исследованиях.

***Работа выполнена при поддержке «Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы».***

Литература

1. Жучков М.В., Булиньска А.К., Киттлер Г. Применение алгоритма «хаос и признаки» в оценке дерматоскопических изображений пигментных новообразований кожи / Дерматология. Приложение к журналу Consilium medicum. – 2017. №2, – С. 5-13,
2. Oliveira R. B. et al. Computational methods for pigmented skin lesion classification in images: review and future trends //Neural Computing and Applications. – 2018. – Т. 29. – №. 3. – С. 613-636.
3. Selchuk, V. Y., Rodionova, O. V., Sukhova, O. G., Polyakov, E. V., Grebennikova, O. P., Burov, D. A., Emelianova, G. S. Methods of formation of the knowledge base in the diagnosis of melanoma //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2017. – Т. 798. – №. 1. – С. 012137.
4. Li Y., Shen L. Skin lesion analysis towards melanoma detection using deep learning network //Sensors. – 2018. – Т. 18. – №. 2. – С. 556.
5. Salido, J. A. A., & Ruiz, C., Jr. Using deep learning for melanoma detection in dermoscopy images. International Journal of Machine Learning and Computing. – 2018. – Т. 8 №.1. – С. 61-68.

Инженерно-физические технологии биомедицины

**РАЗРАБОТКА МОНИТОРА ЖИЗНЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ЧЕЛОВЕКА**

***Кобрисев П.А.<sup>1</sup>, Корженевский А.В.<sup>2</sup>, Туйкин Т.С.<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, Москва*

*<sup>2</sup> ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва  
тел.: +7-977-848-06-99, e-mail: mrkobrisev@gmail.com*

Безопасность функционирования и развитие любой отрасли так или иначе зависит от здоровья ее сотрудников. Очень важно не только эффективно бороться с наступившей болезнью, но и проводить своевременные обследования на предмет патологии.

За последнее десятилетие наряду с изучением биологических эффектов действия ионизирующего излучения активно развивается новая область – магнитобиология. Известно, что при воздействии слабого низкочастотного магнитного поля метаболические и функциональные свойства биологических систем могут быть существенно изменены. Важнейшее приложение магнитотерапии – лечение сердечно-сосудистых заболеваний и онкологии, актуальность проблемы подтверждается статистикой от Всемирной Организации Здравоохранения.

Параметры воздействующего магнитного поля рассчитываются, исходя из полученных данных о частоте пульса и вариабельности сердечного ритма (ВСР) [1]. ВСР – комплексный параметр регуляторных систем организма, не только сердечно-сосудистой, но и нервной, а также гуморальной систем. Это флуктуации сердечного ритма, обеспечивающие возможность приспособления организма к постоянно изменяющимся факторам среды. Спектр данных флуктуаций имеет приблизительную зависимость вида  $1/f$  (рисунок 1), с таким же спектром генерируется магнитное поле в терапевтических целях, центральная частота которого совпадает со средней частотой сердечных сокращений.

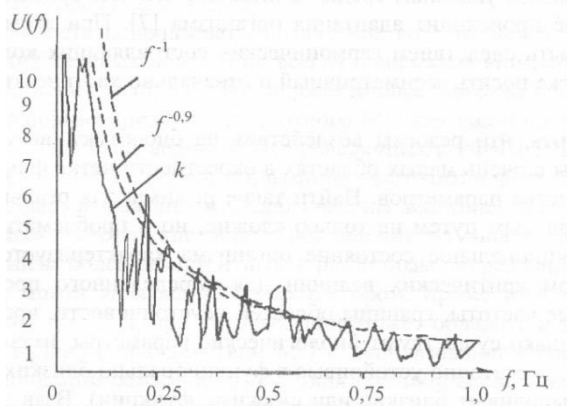


Рис.1. Спектр флуктуаций сердечного ритма

Данная работа преследует цель – создание монитора жизненных показателей человека, представляющий собой экспериментальную установку. Установка включает в себя три основных узла:

1) диагностический, содержащий датчик, регистрирующий сокращения миокарда и сопряженный с микроконтроллером, вычисляющим частоту сердечных сокращений;

2) блок обработки, с помощью которого вычисляются статистические параметры поступившего сигнала;

3) блок генерации магнитного поля, реализующий воздействие на организм на основании информации, поступившей с блока обработки.

Заинтересованность в результатах данной работы выразило предприятие ООО «Импедансные Медицинские Технологии», дистрибьютор медицинской аппаратуры, компания «ЭПИДБИОМЕД», ООО НТЦ «МЕДАСС».

#### Литература

1. Лобкаева Е.П., Григорьев Ю.Г., Коноплянников А.Г., Куличкова Е.В. и др. Человек и электромагнитные поля. // Сборник материалов I международной конференции. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005.

## **МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ФИЗИОЛОГИЧНОГО КРОВОТОКА В СИСТЕМАХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА**

***Колосов А.С., Дмитриева Н.С.***

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва  
+7 (910) 435-16-48, tremeregent@mail.ru*

Одним из наиболее эффективных методов лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы (а иногда – единственным, в виду острого дефицита донорских органов) является применение систем вспомогательного кровообращения (ВК) и искусственного сердца (ИС). Создание подобных систем поддерживается на государственном уровне во многих индустриально развитых странах (таких как США, Германия, Франция, Япония) [1].

Однако, несмотря на ежегодно растущую потребность в системах ВК и ИС многие вопросы их разработки и клинического применения остаются нерешенными. Одним из таких вопросов является создание физиологичного кровотока, который соответствовал бы естественным потребностям организма. Наиболее серьезными недостатками известных на сегодняшний день систем ВК и ИС (в части создаваемого кровотока) являются:

- непрерывность кровотока (полное отсутствие, либо очень малая пульсовая составляющая потока);
- повышенное тромбообразование и травма крови;
- отсутствие биологических обратных связей.

Решение задачи создания физиологичного кровотока позволит улучшить качество оказываемой высокотехнологичной помощи пациентам, а также развить некоторые смежные области, например создание стенда, имитирующего кровеносную систему человека.

### Литература

1. В.И. Шумаков, В.Е. Толпекин, Д. В. Шумаков Искусственное сердце и вспомогательное кровообращение (М.: Янус-К, 2003).



Инженерно-физические технологии биомедицины  
**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
ПРИ ЦИТОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ**

***Кольцов А.В.<sup>1</sup>, Никитаев В.Г.<sup>1</sup>, Проничев А.Н.<sup>1</sup>, Поляков Е.В.<sup>1</sup>,  
Шабалова И.П.<sup>2</sup>, Джангирова Т.В.<sup>2</sup>, Зайцев С.М.<sup>1</sup>,  
Корневский Н.А.<sup>3</sup>, Иванов Ю.Д.<sup>4</sup>***

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного  
профессионального образования» МЗ РФ, Москва*

*<sup>3</sup>Юго-Западный государственный университет, Курск*

*<sup>4</sup>Институт биомедицинской химии им.В.Н.Ореховича, Москва  
конт. тел +7-903-005-68-98, e-mail, докладчика voterstreit@inbox.ru*

Цитологическое исследование является высокоспециализированным, полноценным, признанным во всем мире методом морфологической верификации диагноза, и в то же время это один из наименее автоматизированных и стандартизированных видов лабораторной диагностики.

Активно разрабатываются и с успехом внедряются в практику врача-цитолога информационные технологии, чему в немалой степени способствует стремительное развитие и распространение компьютерных информационных систем, появление сканирующих микроскопов.

Цель данной работы - создание инструментария по формированию и корректировке результатов сканирования цитологических препаратов с применением компьютерной микроскопии для задач цитологической диагностики.

Разработана программа на C++, написанная с применением библиотеки Qt в среде разработки QtCreator, позволяющая автоматизировать процесс сборки панорам полученных с цитологических препаратов.

Программа позволяет загрузить исходные изображения в виде каталога, далее производится автоматическая сборка 2D панорамы. Структура данных для загрузки предусматривает именование файлов размером 2048x2048 с указанием смещения кадра в панораме относительно левого верхнего угла панорамы в имени

файла. Координаты смещения указываются в имени файла следующим образом: «y=0» и «x=0» для первого кадра, для второго «y=0» и «x=2048» и т.д.

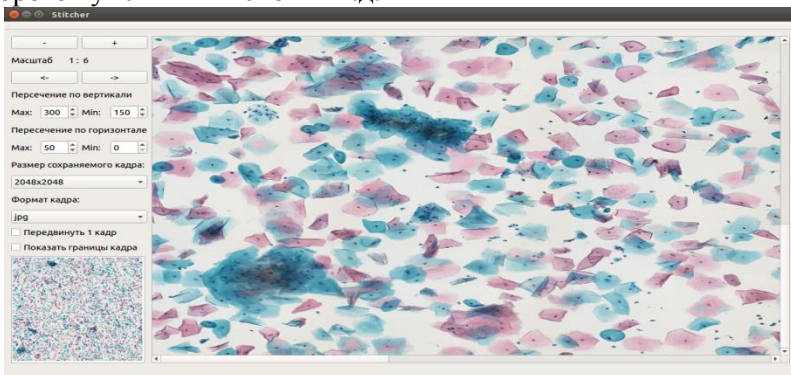


Рис.1. Пример интерфейса программы для формирования панорамных изображений

По результатам тестирования программы отмечено, что для изображений, на которых большое количество объектов, сборка панорамы выполняется корректно в автоматическом режиме. Если же объектов на кадрах мало, то при автоматической сборке панорамы возникают ошибки позиционирования некоторых кадров, что требует последующей «ручной» коррекции.

Дальнейшее развитие разработанной программы будет направлено на решение проблемы сборки панорам с малым количеством объектов.

***Работа выполнена при поддержке «Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы».***

#### Литература

1. Pronichev, A. N., Polyakov, E. V., Shabalova, I. P., Djangirova, T. V., and Zaitsev, S. M. Cytology 3D structure formation based on optical microscopy images. Journal of Physics: Conference Series, 784(1), (2017).

Инженерно-физические технологии биомедицины

**СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ  
ДИАГНОСТИКЕ ЗАБРЮШИННЫХ ОПУХОЛЕЙ ДЛЯ  
ВРАЧЕЙ**

**Корневская П.Ю.<sup>1</sup>, Сельчук В.Ю.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ,  
Москва*

<sup>2</sup>*Национальный Медицинский Исследовательский Центр Онкологии им.  
Н.Н. Блохина, Москва  
+7(915)388-94-16, pollywonder@mail.ru*

Забрюшинные опухоли (ЗО) являются одними из наиболее сложных для диагностики. Результаты лечения опухолей забрюшинного пространства нельзя считать удовлетворительными, послеоперационная смертность доходит до 15%. Забрюшинным опухолям свойственно частое рецидивирование после, казалось бы, радикального удаления. По данным специалистов рецидивируют от 35 до 50% всех забрюшинных опухолей. Прогноз заболевания зависит от стадии болезни на момент установки диагноза и объема проведенного лечения. При начальных формах опухолей забрюшинного пространства и адекватном лечении шансы на выздоровление высокие. При больших опухолях без отдаленных метастазов удаление опухоли возможно, но его успех зависит от множества условий, среди которых важнейшее - техническое оснащение и опыт клиники, проводящей сложное комбинированное лечение. При запущенных формах опухоли прогноз неблагоприятный [1].

Дистанционное обучение врачей – новая организация образовательного процесса, базирующаяся на самостоятельном обучении, при котором обучающиеся отдалены от преподавателя в пространстве и, возможно, во времени, но могут поддерживать с ним дистанционный диалог. В настоящее время дефицита высококвалифицированных кадров на местах, особое значение приобретает современный подход к образованию, базирующийся на интеллектуальных системах дистанционного обучения. Передача молодым специалистам и слушателям курсов повышения квалификации диагностического опыта и опыта работы с

интеллектуальными системами поддержки принятия врачебных решений позволит повысить качество диагностики и лечения.

Одним из приоритетных способов информатизации в онкологии является внедрение систем поддержки принятия решений для врачей, выступающих в роли мультимедийных учебных комплексов с применением баз знаний, экспертных систем, систем дистанционного обучения [2].

Цель – разработка системы дистанционного обучения диагностике забрюшинных опухолей.

Данная система представлена мультимедийным информационно-обучающим комплексом, основанным на учебных материалах, представленных НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина. Она обеспечивает хранение знаний и опыта медицинских экспертов и специалистов по IT. Структура системы дистанционного обучения включает в себя веб-сайт дистанционного обучения, систему проверки знаний, клиническую базу знаний историй болезни ВЗО и методики работы с системой [3].

Главное преимущество разработанной системы - возможность накопления и передачи знаний врачам в области диагностики забрюшинных опухолей дистанционно.

#### Литература

1. М.И. Давыдов, Е.М. Аксель Статистика злокачественных новообразований в России и странах СНГ. /Под ред. Давыдова М.И., Аксель Е.М.; М., Издательская группа РОНЦ-2014
2. В.Г. Никитав, Е.Ю. Бердникович, А.Н. Проничев Разработка мультимедийных курсов дистанционного обучения врачей по гистологической и цитологической диагностике с применением экспертных систем/ Научная сессия МИФИ-2008. Том 3
3. Рассел, Стюарт, Норвиг, Питер. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс» - 2006.

Инженерно-физические технологии биомедицины  
**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ МЕТОДОМ  $^{19}\text{F}$  МРТ**

**Костромина М.С., Гуляев М.В., Павлова О.С.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Москва  
+79612669955, mariannakos@rambler.ru*

Одной из самых серьезных медицинских проблем XXI века являются заболевания легких, а за последние годы именно рак легких стал основной причиной смерти от онкологической патологии. По данным ВОЗ за 2015 год, от рака легких в мире погибло более чем 1.68 млн человек [1]. Туберкулез и легочные инфекции также встречаются довольно часто.

Для выявления данных заболеваний на сегодняшний день используются такие методы, как флюорография, рентгенография и компьютерная томография – методы довольно информативные, но в то же время, вредные для пациента, так как используют ионизирующее излучение.

Дополнительную диагностическую информацию о таких заболеваниях можно получить путем регистрации сигналов ядерного магнитного резонанса (ЯМР) ядер фтора-19 за счет использования фторированных газов [2,3]. Методика успешно применяется в мировой практике, однако в Российской Федерации она не используется ввиду недостаточного технического обеспечения имеющихся клинических МР-томографов.

Работа посвящена рассмотрению технических возможностей использования метода  $^{19}\text{F}$  МРТ для визуализации легких лабораторных животных (крыс, мышей) на имеющемся научно-исследовательском МР-томографе Bruker BioSpec 70/30 USR с постоянным магнитным полем 7.05 Тл. Основные задачи работы – создание установки для накачки легких лабораторных животных смесью фторированного газа и кислорода, наработка нетоксичных смесей образцов наиболее эффективных с точки зрения их визуализации на  $^{19}\text{F}$  МРТ-изображениях, оптимизация импульсных последовательностей (ИП) сканирования.

В качестве визуализируемых фторированных газов в работе использовались перфторциклобутан (ПФЦБ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ) – отечественный

хладон R318C и гексафторид серы (ГФС, SF<sub>6</sub>). В отличие от ГФС, ПФЦБ ранее не применялся в подобных <sup>19</sup>F МРТ исследованиях.

По степени воздействия на организм животных/человека оба газа относятся к малоопасным веществам. ПФЦБ выделяется, как побочный продукт при синтезе тетрафторэтилена, применяется в витреоретинальной хирургии при лечении отслойки сетчатки в качестве тампонирующего газа. ГФС является неорганическим соединением, которое получается из простых веществ S и F<sub>2</sub>, или при разложении сложных фторидов серы, применяется в основном в электротехнике и металлургической промышленности.

Структура <sup>19</sup>F спектра ЯМР исследуемых фторированных газов – мощный одиночный пик (синглет), что весьма упрощает получение их <sup>19</sup>F МРТ-изображений. Визуализацию газов ПФЦБ и ГФС осуществляли с помощью ИП, основанных на методе «градиентного эха»: ИП FLASH и TrueFISP.

В результате выполнения данной работы продемонстрированы возможности и перспективы использования метода <sup>19</sup>F МРТ для визуализации легких лабораторных крыс, показаны преимущества использования газа ПФЦБ для данных целей, главным образом, благодаря наличию в его молекуле 8 магнитно-эквивалентных ядер фтора-19, а также довольно длинному (для газов) времени релаксации T<sub>1</sub> (≈ 65мс). Показано, что для получения наиболее информативных <sup>19</sup>F МРТ-изображений легких предпочтительно использовать ИП TrueFISP с оптимизированными параметрами сканирования (TE=1.8 мс, TR=3.6 мс).

В дальнейшем, планируется провести клинические испытания с данными газами, а также использовать для этих целей аэрозоли на ядрах фтора-19. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-02-00465-а на оборудовании ЦКП МГУ имени М.В. Ломоносова «Биоспектротомография».

Литература:

1. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/ru/>
2. П.А. Ринк. Магнитный резонанс в медицине. (М: Геотар-Мед. 2003).
3. M.J. Couch, I.K. Ball, T. Li, M.S. Fox, S.L. Littlefield, B. Biman and M.S. Albert. Pulmonary ultrashort echo time 19F MR imaging with inhaled fluorinated gas mixtures in healthy volunteers: feasibility. Radiology. Vol.269. Issue 3. P.903-908 (2013).

Инженерно-физические технологии биомедицины

## **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРМОНЕЙТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ТЕПЛОКРОВНОГО ОРГАНИЗМА**

*Лебедева А.С.*

*Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет, г. Белгород  
+7 (951) 144-22-87, 1159288@bsu.edu.ru*

Любой теплокровный организм характеризуется наличием термонеutralной зоны (ТНЗ) – интервала температур окружающей среды, при которых неизменными остаются минимально возможная (на уровне основного обмена) теплопродукция, теплоотдача и внутренняя температура тела, находящегося в состоянии покоя [1].

В ТНЗ, ограниченной нижней и верхней критическими температурами, температура кожи изменяется. Поэтому в теле организма пространственная картина теплопереноса в ТНЗ должна меняться, но меняться так, чтобы неизменными оставались и теплопродукция, и теплоотдача. В физиологии такая перестройка объясняется вазомоторными реакциями [2]. Вне границ ТНЗ интенсивность теплопродукции возрастает и организм «включает» другие механизмы терморегуляции, направленные на поддержание изотермии.

Экспериментальные исследования теплопереноса в живом организме очевидным образом затруднены. Поэтому значимость теоретических исследований, даже на основе простых модельных представлений, повышается. Однако и при таком подходе в научной и учебной литературе до сих пор отсутствуют аналитические оценки ТНЗ. Поэтому цель данной работы: на основе теплофизической модели теплопередачи обосновать существование и получить формульные оценки ТНЗ.

Для этого рассматривается стационарный теплообмен в системе «теплокровный организм – окружающая среда». Как принято в физиологической терморегуляции тело организма представляется в виде гомойотермного ядра, окруженного пойкилотермной оболочкой [2]. Ядро характеризуется условно однородной в пространстве и постоянной во времени температурой. В оболочке происходит перепад от температуры ядра до температуры внешней

поверхности оболочки (кожи), а перенос тепла в ней происходит за счет теплопроводности. Теплообмен рассматривается для тел с плоской, цилиндрической и сферической формой в одномерном приближении. В теплофизике соответствующие этим моделям задачи формулируются как стационарная теплопередача через плоскую, цилиндрическую или шаровую стенку (оболочку), омываемую с обеих сторон жидкостями (в рассматриваемом случае кровью и воздухом) с заданными температурами. Математическое описание теплопередачи проводится на основе уравнений переноса теплоты, выражающих законы Ньютона – Рихмана и Фурье. В отличие от теплофизической постановки, в рассматриваемой задаче поток тепла считается заданной величиной, а неизвестной, помимо температур внутренней и внешней поверхностей оболочки, является общее термическое сопротивление (ОТС) теплопередачи оболочки.

Решение задачи показывает, что при повышении температуры окружающей среды ОТС должен монотонно уменьшаться в ТНЗ за счет вазомоторных реакций. Поэтому ОТС удовлетворяет двойному неравенству, в котором минимальное и максимальное значения сопротивления соответствуют верхней и нижней критическим температурам. Минимально возможное значение ОТС реализуется при нулевой толщине оболочки, а максимальное определяется минимальным размером ядра, который является внешним параметром теплофизической модели. В результате получается оценка ТНЗ в виде аналитических формул для критических температур, зависящих от характеристик организма (теплопродукции, внутренней температуры, объема тела, площади кожи, теплопроводности оболочки), формы тела и условий теплоотдачи тела в окружающую среду. Числовые оценки ТНЗ, проведенные на примере человека, количественно согласовываются с опытными данными.

#### Литература

1. И. Герман. Физика организма человека. (Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011).
2. Физиология человека. В 3-х томах. Т. 3. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. (М.: Мир, 1996).



Инженерно-физические технологии биомедицины

**ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПЛАНОВ  
ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ. ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ  
ПЕРЕСЧЕТА ЧИСЕЛ ХАУНСФИЛДА В ЭЛЕКТРОННУЮ  
ПЛОТНОСТЬ**

*Логвинова И.С.<sup>1</sup>, Захаркив А.Ю.<sup>1</sup>, Макарова Е.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ИФИБ НИЯУ МИФИ, Обнинск*

*Конт. Тел.: +79533214865 e-mail: [irabum60@gmail.com](mailto:irabum60@gmail.com)*

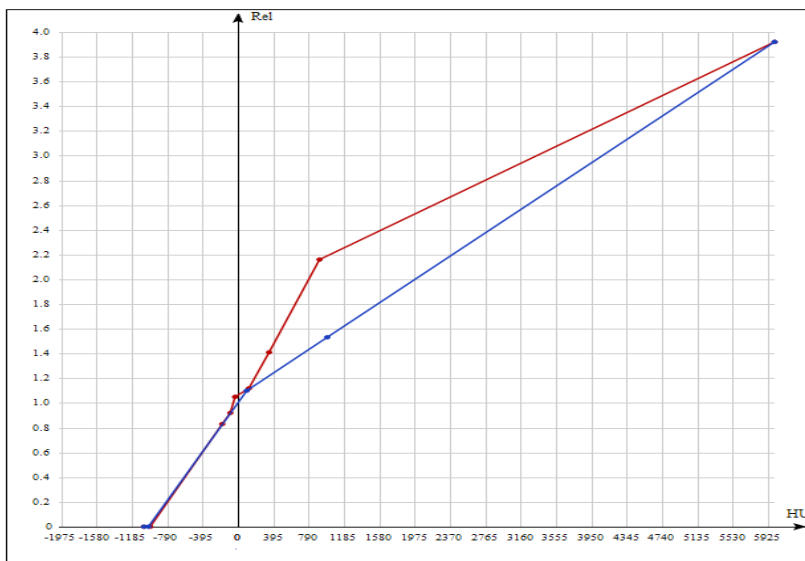
Актуальность данной работы связана с широким применением лучевой терапии для лечения онкологических заболеваний. При планировании лучевой терапии расчет распределения поглощенной дозы в теле пациента осуществляется различными математическими алгоритмами, основываясь на данных компьютерной томографии (КТ). Для работы алгоритма необходима кривая пересчета чисел Хаунсфилда (НУ) в электронную плотность. Кривая электронной плотности по умолчанию содержится в планирующей системе Eclipse. Необходимо выявить насколько различаются предустановленная кривая в системе Eclipse и кривая, полученная экспериментальным путем. А так же оценить результаты планирования при ее использовании.

Основной целью данной работы является получение кривой электронной плотности для оптимизации дозиметрического плана лечения пациента. Для построения кривых относительной электронной плотности использовался фантом Catphan 600. Сканирование фантома осуществлялось на 20-ти срезовом компьютерном томографе Siemens Somatom Definition AS. Сканирование фантома проводилось тремя протоколами (СТ\_HeadNech, СТ\_Thorax, СТ\_Pelvis), при пяти разных значениях напряжения на рентгеновской трубке 70, 80, 100, 120 и 140 кВ. Выбор данных протоколов определен исключительно их удобством использования в клинической практике. Существенно повысить информативность полученных при томографии данных можно путем использования различных методов трехмерной реконструкции, позволяющих рассмотреть участки исследуемого объекта под произвольным углом.

В результате работы, были построены дозиметрические планы с использованием различных кривых, включая предустановленную в системе; произведен анализ полученных данных. Здесь представлена одна из кривых, полученных экспериментальным путём и кривая предустановленная в системе Eclipse (Рис.1).

Экспериментально полученные кривые Хаунсфилда расходятся с предустановленной кривой и проходят значительно выше, в результате чего, недопустим расчет дозиметрических планов по кривой, предустановленной в системе. Рис. 1. Кривая для протокола RT\_Pelvis с вариацией напряжения на трубке и кривая планирующей системы Eclipse

## Литература



1. Компьютерная томография. Базовое руководство. 2-е издание, переработанное и дополненное: — М.: Медлит., (2008)
2. Труфанов Г.Е., Асатурян М.А. Лучевая терапия (2012)

## **АНКСИОЛИТИЧЕСКИЕ И МНЕМОТРОПНЫЕ ЭФФЕКТЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ<sup>1</sup>**

***Ломтева Н.А.<sup>1</sup>, Кондратенко Е.И.<sup>1</sup>, Касимова С.К.<sup>1</sup>, Алыкова  
О.М.<sup>1</sup>, Алыкова А.Ф.<sup>1,2</sup>***

*<sup>1</sup>Астраханский государственный университет, Астрахань  
<sup>2</sup>НИЯУ МИФИ, Москва*

Одним из наиболее удобных и широко используемых методов при изучении влияния различных веществ на когнитивные процессы в эксперименте на животных (грызунах) является воспроизведение памятного следа после выработки условного рефлекса пассивного избегания (УРПИ). [1,2]. Наличие резкого градиента между светом и темнотой позволяет проверить специфичность приобретенного опыта. Животное, у которого произошло образование памятного следа, остаются в освещенной камере, потому что активное поведение блокируется условной эмоциональной реакцией [5]. Модель УРПИ позволяет оценить избирательное действие различных соединений на стадиях фиксации, консолидации, хранения и извлечения следа памяти, вводя исследуемое вещество до или после обучения или перед проверкой навыка. В частности, с помощью этой модели принято оценивать мнемотропное действие различных соединений при разных схемах их применения. Суок-тест представляет собой «гибрид» сразу нескольких традиционных поведенческих моделей, позволяет вести регистрацию широкого диапазона поведенческих реакций, от локомоции и исследовательской активности до вегетативных маркеров поведения [3]. Как совершенно новая поведенческая модель рекомендуется в нейрогенетике, в психофармакологии для скрининга психотропных эффектов препаратов, в нейрофизиологии для анализа физиологической активности мозга [4]. В работе приведен анализ результатов воздействия растительными экстрактами на нейрокогнитивные функции и поведенческие реакции на животных в эксперименте.

---

**Полученные результаты были получены в рамках государственного задания  
Министерства образования и науки РФ № 6.9031.2017 / 8.9**

Исследование проводили на 80 белых беспородных крысах самцах, которые были разделены на 4 группы. 1 группа – интактный контроль; 2-4 группы – экспериментальные животные, которые в течение 21 дня получали ежедневно вместо воды, в качестве полноценного питья, препараты ноотропного действия в виде водных растворов (раствор дивазы, экстракт Гинко-Билоба и водный экстракт шалфея соответственно).

Все полученные данные в ходе эксперимента были подвергнуты статистической обработке с использованием критерия Стьюдента.

Результаты проверки сохранности рефлекса показали, что введение белым крысам растворов Гинко-Билоба и дивазы вызывает более прочную тенденцию сохранности памятного следа, по сравнению с показателями у животных, получавших водный экстракт шалфея и у контрольных самцов. В светлом отсеке Суок-теста раствор Гинко-Билоба приводил к небольшому увеличению двигательной активности в виде числа пересеченных квадратов, повышению ориентировочно-исследовательских реакций, происходило значительное повышение времени, проведенное животными в светлом отсеке теста. Раствор дивазы, которая является фармацевтическим ноотропным средством, приводил к аналогичным, но более выраженным изменениям. Под действием водного экстракта шалфея происходили сходные изменения поведенческих реакций животных.

#### Литература

1. Буреш Дж. Методы и основы экспериментов по изучению мозга и поведения / Дж. Буреш, О. Буреш, Дж. П. Хьюстон. - М.: Наука, 2000. - 250 с.
2. Фирстова Ю.Ю. Влияние скополамина и ноотропного препарата фенотропила на рецепторы нейротрансмиттеров головного мозга при тестировании условного рефлекса пассивного избегания / Ю.Ю. Фирстова Д.А. Абаймов И.Г. Капица Т.А. Воронина, Г.И. Ковалев // Нейрохимия. 2011. - V. 28. - № 2. - С. 130-141.
3. Kalueff A.V. The Suok («ropewalking») murine test of anxiety /A.V. Kalueff, P. Tuohimaa // Brain Res. Protoc. – 2005. – Vol. 14. – P. 87-99.
4. Kalueff A.V. Neuroethological models of anxiety and depression /A.V. Kalueff, K.C. Montgomery // memorial lecture. – М., 2003. – P. 1-30.
5. Кондратенко Е.И., Сравнительный анализ гиполипидемической активности экстрактов лотоса орехоносного / Е.И. Кондратенко, Н.А. Ломтева, М.А. Самотруева, М.В. Мажитова // Журнал фармацевтической химии. - 2015. - 49 (7), С. 470-472.

Инженерно-физические технологии биомедицины

**КОНФОРМНАЯ И КОНВЕНЦИОНАЛЬНАЯ ЛУЧЕВАЯ  
ТЕРАПИЯ РАКА ПИЩЕВОДА. СРАВНИТЕЛЬНАЯ  
ХАРАКТЕРИСТИКА 2D И 3D ПЛАНИРОВАНИЯ**

**Макарова Е.А.<sup>1</sup>, Захаркив А.Ю.<sup>1</sup>, Логвинова И.С.<sup>1</sup>,  
Титова Л.Н.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>ИФИБ НИЯУ МИФИ, Обнинск<sup>2</sup>МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ  
«НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск  
Конт. Тел.: +79106018947, e-mail: [makarova\\_696@mail.ru](mailto:makarova_696@mail.ru)*

Конформное облучение – это первый шаг в освоении высоких технологий лучевой терапии (ЛТ). В мире накоплен большой опыт сравнения различных методик ЛТ. Но в России, где еще достаточно широко применяется 2D планирование [1], задача сравнения 2D и 3D дозиметрических планов лечения является актуальной. Сравнение нагрузок на органы риска при этих методиках лечения позволяет оценивать возможность повторных курсов ЛТ у конкретных пациентов, сочетать на различных этапах лечения конвенциональное и конформное облучение.

Актуальность данной работы заключается в достижении прецизионности и селективности в лечении больных раком пищевода.

В данной работе была поставлена следующая цель - провести сравнительный анализ лучевых нагрузок на нормальные ткани и мишень при конвенциональной ЛТ и трехмерной ЛТ (3DCRT) больных раком пищевода.

Очевидно, что для сравнения двухмерного плана с 3DCRT необходимо воспроизвести условия облучения при 2D планировании в трехмерной системе планирования ХЮ. Выбор параметров облучения и их направление полей облучения осуществляется таким же образом, как и при двухмерном плане [2].

Для 20 пациентов с диагнозом «рак пищевода» были составлены планы для предоперационной конформной лучевой терапии. Каждому пациенту было проведено СКТ-исследование. Полученные изображения передавались в систему FOCAL для оконтуривания, затем все данные отправлялись в систему ХЮ для

создания планов. В меню Beams создавались поля, количество и угол наклона которых выставлялись индивидуально для каждого пациента. В меню Port формируются поля облучения с помощью многолепесткового коллиматора. Для трехмерного планирования система ХЮ работает с лепестками в автоматическом режиме.

В результате проведенных планов лечения были получены значения дозовых нагрузок на критические органы для 20 пациентов. После обработки данных пациентов были построены гистограммы, на которых видна разница между нагрузками на критические органы, таких как легкие, сердце и спинной мозг. Здесь представлена гистограмма сравнения дозовых нагрузок на спинной мозг для 6 пациентов (Рис. 1). И уже из этой небольшой выборки видно, что благодаря сочетанию прецизионности и селективности при 3DCRT развивается меньшее число лучевых повреждений со стороны окружающих здоровых тканей за счет уменьшения на них лучевой нагрузки, чем при сравнимых дозах, но неконформного (конвенционального) 2D-облучения.

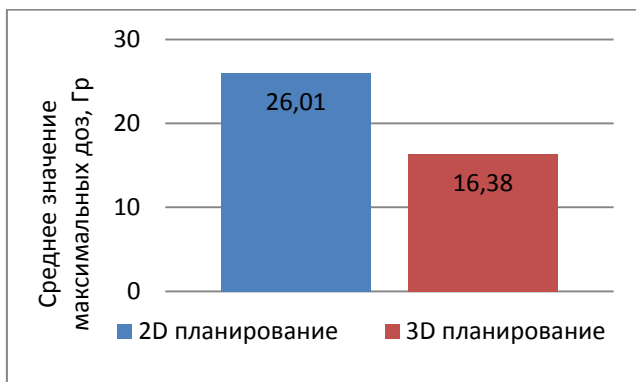


Рис. 1. Сравнение дозовых нагрузок на спинной мозг

#### Литература

1. Климанов В.А., Крылова Т.А. Дозиметрическое планирование лучевой терапии. Часть 1. Дистанционная лучевая терапия пучками тормозного и гамма-излучения: учебное пособие. (М.: МИФИ. 2007).

П. Белова, И.В. Глеков, В.А. Григоренко, Н.А. Сусулева, А.В. Яркина ПРОЕКТ: Клинические рекомендации по конформной лучевой терапии. (2014).

# ВЛИЯНИЕ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ ОКСИГЕНИЗАЦИИ НА ПРОТОННЫЙ МЕТАБОЛИЗМ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

Манжурицев А.В.<sup>1,2</sup>, Ахадов Т.А<sup>2</sup>, Семенова Н.А.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>ИБХФ РАН, Москва

<sup>2</sup>НИИ НДХиТ, Москва

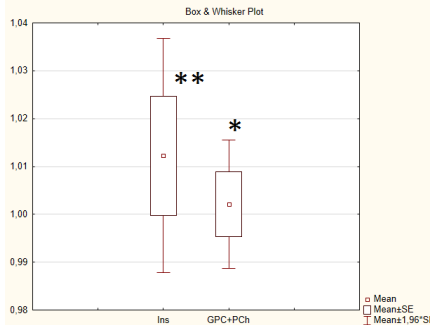
<sup>3</sup>ИХФ РАН, Москва

## Введение

Ранее нами был показан [1] эффект однократного сеанса гипербарической оксигенации на интенсивность спектральной линии NAD/NADH, что означает прямую активацию энергетического метаболизма. Однако, природа данного изменения до конца не ясна. Цель настоящей работы: определить эффект однократного сеанса ГБО на метаболизм ГМ по данным магнитно-резонансной спектроскопии.

## Материалы и методы

Исследование осуществлено на МР томографе Philips Achieva dStream 3.0T и по дизайну в точности повторяло [1] с той разницей, что вместо 2D <sup>31</sup>P МРС использована одновоксельная <sup>1</sup>H МРС с TE=115 мс, TR=2000. Локализация спектров: лоб, затылок, белое вещество слева, темная область. Спектры обработаны в LC Model. Концентрации метаболитов в спектрах после ГБО нормировались на соответствующие концентрации до ГБО.



## Результаты

Однократный сеанс ГБО привел к достоверному росту (\*\* $p < 0.05$ ) миоинозитола во всех исследуемых областях. Также

Инженерно-физические технологии биомедицины  
обнаружен тренд ( $*p < 0.1$ ) к росту холина, также во всех  
локализациях

#### Литература

1. Manzhurtsev et al. <http://dev.ismrm.org/2017/5610.html>



Инженерно-физические технологии биомедицины

**КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО  
УРОФЛОУМЕТРА НА ОСНОВЕ НОВЫХ  
ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ**

**Миннуллина А.М.<sup>1</sup>, Порунов А.А.<sup>1</sup>, Тюрина М.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань  
89870085127, minnullina-alija2013@yandex.ru

Современная клиническая практика диагностики состояния мочевыделительной системы в качестве инструментальных средств очень часто использует урофлоуметры. Достоверность их показаний существенно влияет на выявление патологий мочевыделительной системы (МВС). Поэтому риск диагностической ошибки определяется в основном метрологическими характеристиками урофлоуметров. Основной проблемой диагностики состояний МВС является не соответствие технических характеристик отечественных урофлоуметров по точности и диапазону измерения современным требованиям клинической практики.

Существующие урофлоуметры, как правило, обладают невысокой точностью измерений, в них отсутствует связь с персональным компьютером, благодаря которой возможно исключить психологические факторы, пагубно влияющие на достоверность результатов. Кроме того им присущи такие недостатки, как необходимость юстировки измерительных элементов; контакт измерительных элементов с агрессивной средой; недостаточная воспроизводимость результатов измерения, обусловленная неиспользованием информации от расходомера для повышения точности измерения; необходимость обеспечения заданной точности установки углового позиционирования урофлоуметра (поверхность должна быть строго горизонтальная, иначе это приводит к погрешности в результатах измерения).

В Казанском национальном исследовательском техническом университете имени А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ) (Республика Татарстан (РТ), Россия) в течение последних 5 лет проводятся совместно с медицинскими учреждениями РТ и ООО «Сетал» исследования по созданию перспективного урофлоуметра на новых физических принципах. По результатам этих исследований была

разработана новая концепция построения перспективного устройства для измерения параметров уростатики и уродинамики МВС [1]. В работу устройства положен принцип вытеснения воздуха непосредственно соприкасающегося с биологической жидкостью (моча) из емкости для сбора [2]. Расход вытесняемого воздуха предлагается измерять с помощью датчиков расхода воздуха и температуры, которые не будут находиться в контакте с биологической жидкостью[3]. Использование в качестве чувствительных элементов датчика расхода струйно-конвективных преобразователей позволяет достигнуть разрабатываемому устройству высокую чувствительность и быстродействие, вследствие отсутствия механических подвижных элементов[4].

Таким образом, предложенная в работе концепция структурного построения устройства для измерения уродинамических параметров мочевыделительных органов обладает повышенной точностью измерения и расширенным диапазоном измерения, что дает возможность проводить исследования в широкой возрастной группе пациентов.

#### Литература

1. Пат. RU 2 643 110 C1 (МПК А61В 5/20 (2006.01)) Устройство для измерения параметров уростатики и уродинамики мочевыделительной системы /Авт.: Миннуллина А.М., Порунов А.А., Тюрина М.М. и др.; Заяв. 30.12.2016; Оpubл. 30.01.2018; Бюл. № 4;

2. Миннуллина А.М., Дьячков К.В. Порунов А.А., Тюрина М.М. Сравнительный анализ методов и средств уродинамического мониторинга и разработка системы измерения параметров мочевыделительных органов.// Материалы конференции ХХІХ Всероссийской НТК "Биомедсистемы – 2016". – Рязань. 2016.– С. 120-122.

3. Миннуллина А.М., Порунов А.А., Тюрина М.М. Инженерные аспекты разработки и исследования базовых модулей урофлоуметра для мониторинга параметров мочевыделительной системы //Сборник докладов Всероссийской молодежной научно-технической конференции, посвященной 85-летию «Автоматика и электронное приборостроение», Казань: Изд-во «Бриг», 2017. – С. 177-181.

4. Миннуллина А.М., Порунов А.А., Тюрина М.М. Результаты моделирования расходометрического канала урофлоуметра // Сборник докладов Международной молодёжной научной конференции «ХХІІІ Туполевские чтения» (школа молодых ученых). – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2017. – Т. 2. – С. 74-79.

Инженерно-физические технологии биомедицины

**РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОНТРАСТНЫХ  
АГЕНТОВ ДЛЯ МР ТОМОГРАФИИ В ПРИСУТСТВИИ  
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

**Михайлов К.А., Гуляев М.В.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Москва  
+79776845427, ka.mikhaylov@physics.msu.ru*

Для повышения контрастности изображений в магнитно-резонансной томографии применяют специальные вещества – контрастные агенты (КА), способные изменять времена протонной релаксации в ткани (опухоли) или физиологической жидкости (крови, лимфе и т.д.) [1,2]. Для характеристики КА используется понятие релаксационных эффективностей ( $r_1$ ,  $r_2$ ), значения которых отражают скорости продольной  $T_1$  и поперечной  $T_2$  релаксации ядер в 1 ммоль/л вещества, соответственно. Чем выше значения  $r_1$  и  $r_2$  у КА, тем выше его контрастные свойства.

Широко используемые на сегодняшний день в клинической практике парамагнитные КА Магневист®, Омнискан®, Гадовист® и др. [2] представляют собой хелаты гадолиния, которые за счёт электрофильного парамагнитного иона могут взаимодействовать с функциональными группами (-ОН, -NH, -О- и др.) макромолекул, замедляя, с одной стороны, скорость обмена между свободными и связанными молекулами воды, а с другой стороны, затрудняя своё ротационное движение. Первый из этих эффектов понижает релаксационную эффективность, а второй – повышает [3].

Как показывает практика, для достижения нужного результата необходимо вводить в организм достаточно большое количество КА (например, при использовании Магневиста® оптимальный объем препарата для внутривенного введения составляет 15 мл на 70 кг массы тела), которое, несомненно, оказывает токсическое воздействие на организм человека. Необходимость в использовании такого большого объема обусловлена фактически низкими значениями релаксационной эффективности КА ( $r_1 \approx 2-3$ ;  $r_2 \approx 4$ ).

С другой стороны, известно, что конъюгаты комплексонатов гадолиния с макромолекулами, в частности, с мицеллами

поверхностно-активных веществ (ПАВ), могут иметь более высокие значения релаксационной эффективности по сравнению со значениями для исходных контрастных агентов. Тем не менее, до сих пор остаются малоизученными такие системы, не выявлен их потенциал в качестве новых контрастных агентов для МРТ. Представленная работа посвящена решению данных вопросов.

Для проведения релаксационных измерений были приготовлены образцы, содержащие чистые водные растворы и водные растворы в присутствии 10% ПАВ, в каждый из которых было добавлено различное количество Магневиста®, Омнискана® или Гадовиста®. В качестве ПАВ использовались клинически разрешенные Проксанол-268® и Полоксамер-407® [2]), а в качестве водного раствора – дистиллят.

Расчет и измерение значений  $r_1$  и  $r_2$   $^1\text{H}$  ядер в исследуемых образцах проводили на научно-исследовательском МР-томографе Bruker BioSpec 70/30 USR с постоянным магнитным полем 7.05 Тл.

Как показали проведенные исследования, значения  $r_1$  для образцов с КА в присутствии ПАВ превосходят значения  $r_1$  для образцов с КА и дистиллированной водой, а наиболее сильное увеличение (более чем на ~30%) наблюдается для образца, содержащего Магневист® в присутствии Проксанола-268®. С точки зрения клинической МР томографии это может означать, что для достижения сопоставимого эффекта контрастирования, количество вводимого Магневиста®, а значит и токсичного для организма гадолиния, можно снизить на ~30%. В то же время, добавление ПАВ не влияет на значения  $r_2$   $^1\text{H}$  ядер исследуемых образцов для всех КА.

В дальнейшем планируется провести релаксационные измерения образцов при различной температуре, а при сохранении эффекта – *in vivo* МРТ исследования на лабораторных животных.

Литература:

1. П.А. Ринк. Магнитный резонанс в медицине. (М: Геотар-Мед. 2003).
2. P. Caravan, J.J. Ellison, T.J. McMurry and R.B. Lauffer. Gadolinium(III) Chelates as MRI Contrast Agents: Structure, Dynamics, and Applications. Chem. Rev. Vol.99. P.2293-2352 (1999).
3. Р.Р. Амиров. Состояние парамагнитного зонда в растворах, содержащих смешанные мицеллы анионных и неионных ПАВ, по данным ядерной магнитной релаксации. Коллоидн. ж. Т.61, №4. С.467-472 (1999).

Инженерно-физические технологии биомедицины

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КРИОКОНСЕРВАЦИИ КЛЕТОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ

***Миценык А.С.<sup>1</sup>, Гельм Ю.В.<sup>2</sup>, Анохин Ю.Н.<sup>1</sup>, Абакушина Е.В.<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

<sup>2</sup> ООО «АРТ БиоВет», г. Обнинск  
89206158381, micenyk-anastasi@mail.ru

*Актуальность.* Для сохранения клеток и тканей млекопитающих используют несколько способов криоконсервации биологического материала: медленная и быстрая заморозка, т.е. витрификация или мгновенное погружение в жидкий азот. Для заморозки яйцеклеток и эмбрионов наиболее эффективным признан метод витрификации [1]. В настоящий момент в России не используют витрификацию яйцеклеток и эмбрионов сельскохозяйственных животных, а применяют общепринятые устаревшие методы оплодотворения. Поэтому разработка и внедрение данной технологии криоконсервации клеток млекопитающих как никогда актуальна, в частности для сельского хозяйства и животноводства. Внедрение вспомогательных репродуктивных технологий позволит увеличить селекционный прогресс племенного скота и редких пород животных в 5-7 раз по сравнению с искусственным осеменением.

*Цель работы.* Разработать оптимальный метод витрификации клеток млекопитающих, при котором в процессе размораживания полностью сохраняется их жизнеспособность.

*Материалы и методы.* Для проведения данного исследования были собраны яичники шести свиней в возрасте от 2 до 3 лет. Ооциты извлекались при помощи аспирации из антральных фолликулов больше 2 мм в диаметре. Яйцеклетки отмывали физиологическим раствором. Среды для витрификации содержали комбинацию различных криопротекторов и вспомогательных веществ. Замораживание биоматериала осуществлялось в средах с разной концентрацией криопротекторов в несколько этапов с последующей витрификацией ооцитов, переносом в криобирку и её погружением в жидкий азот. После семидневного хранения опытные образцы были разморожены в растворе сахарозы, проведена морфологическая оценка яйцеклеток и флуоресцентная

микроскопия. Для этого после ревитализации яйцеклетки фиксировали и окрашивали Хехстом и пропидием йодидом.

*Результаты.* В результате аспирации антральных и преовуляторных фолликулов было получено 22 яйцеклетки разной степени зрелости. Из всех полученных ооцитов дегенеративных клеток оказалось 31,8%. Яйцеклетки замораживали вместе с клетками кумулюса для оценки их жизнеспособности после ревитализации. Морфологическая оценка яйцеклеток после оттаивания показала, что 71,4% ооцитов имели нормальную морфологию. Ядра клеток кумулюса хорошо прокрасились и визуализировались под флуоресцентным микроскопом. Жизнеспособность клеток была оценена по включению пропидия йодида и соответствовала доле яйцеклеток с нормальной морфологией. Полученные данные хорошо соотносятся с результатами других авторов по выживаемости яйцеклеток свиньи после витрификации и последующего размораживания [2]. *Выводы.* Для получения большего количества яйцеклеток необходимо забирать яичники у свиней младше двух лет. Данный метод витрификации клеток млекопитающих может быть успешно применён к сельскохозяйственным животным, в частности свиньям. Для того чтобы получить подтверждение полученных данных необходимо провести несколько подобных экспериментальных работ и продолжить анализ данных по выживаемости яйцеклеток после витрификации в предложенных условиях с помощью разрабатываемой технологии.

#### Литература

1. R. Chian, Y. Wang and Y. Li Oocyte vitrification: advances, progress and future goals. J Assist Genet Vol.31. Issue 4. P.411–420. (2014)
2. T. Somfai, N. Thi Men, J. Noguchi, H. Kaneko, N. Kashiwazaki and K.Kikuchi. Optimization of cryoprotectant treatment for the vitrification of immature cumulus-enclosed porcine oocytes: comparison of sugars, combinations of permeating cryoprotectants and equilibration regimens. J Repr Dev. Vol. 61. Issue 6. P.571–579 (2015).

Инженерно-физические технологии биомедицины

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НЗТ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т**

***Молодов П.А., Аникин М.Н., Наймушин А.Г.***

*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, Томск  
+79234223663, molodovpavel@gmail.com*

Бор-нейтрон-захватная терапия – бинарная технология лучевой терапии, основанная на возможности изотопа  $^{10}\text{B}$  поглощать тепловые нейтроны в результате реакции  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ . Продукты данной реакции быстро тормозятся и выделяют энергию 2,3 МэВ на длине  $\sim 10$  мкм, что обеспечивает возможность селективного поражения раковых клеток [1].

Одним из перспективных вариантов реализации установки для НЗТ является использование исследовательских ядерных реакторов [2]. В настоящее время на реакторе ИРТ-Т разрабатывается проект реконструкции экспериментального горизонтального канала ГЭК-1 для создания нейтронного пучка для проведения специализированных экспериментальных и клинических исследований НЗТ злокачественных опухолей.

Для расчетного обеспечения проекта разработана полномасштабная трехмерная модель исследовательского реактора ИРТ-Т в программном комплексе MCU-PTR [3], подробно описывающая реальную геометрию активной зоны реактора и экспериментальных устройств. Однако, полномасштабную модель возможно использовать только для прецизионных расчетов с большой точностью, ввиду высоких временных затрат на вычисления. Для серийных расчетов в задачах оптимизации блока вывода пучка целесообразно использовать модель поверхностного источника. Поверхностный источник можно задать двумя способами: с помощью встроенного в программу MCU-PTR метода накапливаемого источника и с помощью сложного источника с определенными энерго-угловыми характеристиками. Первый способ также является трудоемким и времязатратным, и обладает существенным недостатком – несовместимостью с режимом многопроцессорных вычислений MPI. Поэтому для серийных расчетов был использован метод сложного источника. Положение

плоскости источника было выбрано по результатам многовариантных расчетов степени канализации излучения. На поверхности источника было определено пространственное, энергетическое и угловое распределение нейтронов и гамма-квантов. С помощью полученного поверхностного источника были рассчитаны характеристики полей излучений на выходе горизонтального канала ГЭК-1. Верификация результатов проведена с помощью прецизионных расчетов на полной модели и экспериментальных измерений распределения тепловых нейтронов по длине канала.

Разработанная модель поверхностного источника была успешно применена при проектировании оптимальной для НЗТ конструкции канала ГЭК-1. Дальнейшим направлением исследования является использование модели источника для определения дозиметрических характеристик в водном и антропоморфном фантомах.

#### Литература

1. International Atomic Energy Agency (IAEA), Current status of neutron capture therapy, in IAEA-Tecdoc-1223. 2001, IAEA: Wien.
2. Bavarnegin E., Kasesaz Y., Wagner F. M. Neutron beams implemented at nuclear research reactors for BNCT //Journal of Instrumentation. – 2017. – Т. 12. – №. 05. – С. P05005.
3. Alekseev N. I. et al. MCU-PTR program for high-precision calculations of pool and tank type research reactors //Atomic energy. – 2011. – Т. 109. – №. 3. – P. 149-156.



## МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦЫ- РАДИОСЕНСИБИЛИЗАТОРА: ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

***Морозов К.В.<sup>1</sup>, Белоусов А.В.<sup>1</sup>, Морозов В.Н.<sup>1,2</sup>, Крусанов Г.А.<sup>3</sup>,  
Колыванова М.А.<sup>2</sup>, Черняев А.П.<sup>1,3</sup>, Штиль А.А.<sup>4</sup>***

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва

<sup>2</sup> ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, Москва

<sup>3</sup> НИИЯФ им. Д.В. Скобельцина МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>4</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени  
Н.Н. Блохина» Минздрава России, Москва  
+79688565496, 64rus1997@mail.ru

**Введение.** Избирательность накопления в опухолевых клетках и высокий атомный номер ( $Z_{Au}=79$ ) по сравнению с мягкими тканями привлекают интерес к наночастицам (НЧ) золота как противоопухолевым радиосенсибилизаторам для лучевой терапии. Для достижения наилучшего эффекта увеличения дозы требуется настройка параметров НЧ под заданную стратегию лучевого лечения, а именно оптимизация размера, формы и модификации поверхности. Последний параметр играет важную роль при использовании НЧ *in vivo* и позволяет избежать агрегации НЧ в плазме крови, а также опсонизации и фагоцитоза. Кроме того, модификация поверхности позволяет доставлять НЧ к выбранным мишеням посредством пассивного и активного таргетирования. Среди лигандов, используемых для модификации поверхности НЧ, наиболее распространенным является полиэтиленгликоль (ПЭГ). Однако, влияние оболочки на физические основы эффекта радиосенсибилизации представляется не до конца изученными. Целью настоящей работы является изучение влияния модификации поверхности оболочкой ПЭГ на дозовое распределение вокруг НЧ.

**Материалы и методы.** Методом Монте-Карло (Geant4) исследовано влияние оболочки на низкоэнергетичные ( $<2$  кэВ) вторичные электроны. Проведено сравнение спектров вторичного излучения и распределения дозы на расстоянии 20 нм от поверхности контакта с предполагаемой мишенью (поверхность золота/ПЭГ) для двух моделей НЧ золота диаметром 17 нм: А) НЧ без оболочки, В) НЧ покрытая оболочкой ПЭГ толщиной 8.5 нм

( $M_{\text{ПЭГ}}=5000$  г/моль) под действием круглого пучка фотонов  $^{60}\text{Co}$  (1.17 МэВ и 1.33 МэВ) (Рис. 1).

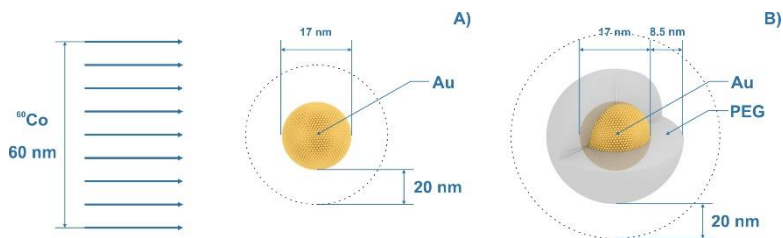


Рис.1. Схема эксперимента

**Результаты и обсуждение.** Вторичные электроны, испускаемые НЧ под действием первичных фотонов, передают свою энергию окружающей среде, формируя дозовое распределение вокруг НЧ. Низкоэнергетичные электроны ионизации (электроны Оже, Костера-Кронига, флуоресценции) формируют поглощенную дозу в непосредственной близости от поверхности НЧ. В оболочке НЧ, несмотря на небольшую плотность, происходит поглощение значительного числа ( $>50\%$ ) низкоэнергетичных вторичных электронов: из  $1812 \pm 42$  электронов, покинувших золотое ядро, только  $883 \pm 30$  смогли преодолеть оболочку, а потери их полной энергии составили  $\sim 35\%$ . В результате такого поглощения изменяется дозовое распределение вокруг НЧ. Отношение доз в моделях НЧ без оболочки и покрытой оболочкой ПЭГ отличалось до 9 раз около поверхности НЧ и убывало с расстоянием. На расстоянии 20 нм от поверхности отношение доз составляло  $\sim 2$ .

**Заключение.** Поглощение в оболочке низкоэнергетичных вторичных электронов критически (до 9 раз в исследованной конфигурации) уменьшает дозу у поверхности НЧ, что делает оболочку активным участником радиомодифицирующего действия и требует ее оптимизации во избежание значительных дозовых потерь.

## **РАЗРАБОТКА МАГНИТОЭКРАНИРУЮЩИХ КАМЕР НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

***Мухамедзянова Л.В., Васильева О.В., Кузнецов П.А.,  
Маннинен С.А.***

*НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург  
+7(812) 274-17-24, npk3@crism.ru*

В настоящее время важной и актуальной задачей является исследование воздействия слабых магнитных полей и гипогеомагнитной обстановки на различные биологические объекты [1]. Интерес связан с возможностью конкретного практического применения таких неинвазивных методов для диагностики и лечения различных заболеваний. В связи с этим сложной и наукоемкой задачей является создание камер, значения индукции магнитного поля в которых в сотни и тысячи раз меньше индукции поля Земли, т.е. составляют величины на уровне 50 нТл и менее.

В НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» разработана и запатентована перспективная технология получения экранирующих рулонных композиционных материалов на основе лент аморфных и нанокристаллических сплавов, предназначенных для создания различных экранирующих конструкций. Показано, что на эффективность экранирующей конструкции существенное влияние оказывают: состав сплава, режим термической обработки, а также соответствие конструкции будущего экрана механическому состоянию ленты при термической обработке [2].

В процессе разработки экранирующих конструкций применяются методы численного моделирования для расчета эффективности экранирования и выбора количества слоев рулонного материала, необходимого для достижения заданного коэффициента экранирования.

Для получения экранирующих конструкций с коэффициентом экранирования более 500, используются двойные экраны в виде концентрических цилиндров разного радиуса. Для достижения наиболее высоких значений коэффициента экранирования, порядка

1000 и более, изготавливается размагничивающая обмотка в виде соленоида, который располагается в промежутке между двумя экранирующими цилиндрами.

Такие экранирующие камеры позволяют проводить комплексные медико-биологические исследования влияния слабых магнитных полей на живые организмы. С помощью изготовленных гипомангнитных камер исследовалась реакция биологических объектов на воздействие экранированного поля Земли. В частности, были проведены исследования влияния гипомангнитных полей на активность колоний кардиомиоцитов, на реакцию клеточных органелл, на вариабельность морфологических свойств микромицетов, а также были проведены эксперименты, показавшие возможность управления гемодинамическими показателями лабораторных животных [3].

Полученные с помощью разработанных камер многочисленные экспериментальные данные по влиянию гипогеомагнитных полей на все уровни организма показывают большие перспективы использования магнитных экранов в электромагнитной экологии, биологии и медицине.

Исследование влияния измененного естественного геомагнитного поля на биологические объекты, в том числе и экранированного, позволит изучить механизмы воздействия таких полей, а следовательно, снизить возникновение отклонений в адаптации и поведенческих реакциях при космических полетах, а также уменьшить долговременные отрицательные последствия.

Литература:

1. Сурма С.В., Кузнецов П.А., Васильева О.В. Использование аморфных магнитомягких материалов для защиты биологических объектов от воздействия слабых магнитных полей // Материаловедение. - №4. - 2009. - С. 52-59.

2. Кузнецов П.А., Маннинен С.А., Васильева О.В. Влияние упругих изгибных деформаций на магнитные и экранирующие свойства рулонного магнитного экрана // Вопросы материаловедения. - №4. - 2011.-С.67-72.

3. Горынин И.В., Орыщенко А.С., Фармаковский Б.В. и соавт. Биотехнологические исследования, проводимые в научном нанотехнологическом центре ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» // Вопросы материаловедения. - №3. - 2016. - С. 82-96.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕТОЧНОСТИ УКЛАДКИ ПАЦИЕНТА НА ИЗОДОЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИ КРАНИОСПИНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ**

**Овсянников А.В.**

*Европейский медицинский центр (ЕМС), Москва*  
+7-909-946-56-25, [270560@list.ru](mailto:270560@list.ru)

После внедрения новейшей методики облучения VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy) появилась возможность создания более качественных и нестандартных дозиметрических планов облучения с более высоким градиентом падения дозы для защиты органов риска. Отдельно стоит отметить краниоспинальное облучение, проводимое, как правило, в зарубежных клиниках на аппаратах Томотерапии (TomoTherapy), которых, к сожалению, в РФ только два. Поэтому возникает необходимость создания планов облучения, используя имеющееся техническое оснащение в клиниках. С помощью методики VMAT при планировании краниоспинального облучения центральной нервной системы медицинским физикам необходимо учитывать корректность расчета дозы в зоне наложения полей, а также анализировать оценку возможных неточностей на иммобилизацию пациента (доза, которая учитывается при максимальной погрешности на укладку, не должна превышать 110% от предписанной врачом).

Целью данного исследования является подборка максимально оптимальных и эффективных параметров линейного ускорителя при краниоспинальном облучении методом VMAT. Основываясь на результатах, необходимо показать, что данная методика лечения не уступает Томотерапии по расчётному распределению дозы в пациенте.

Исследование проводилось на реальных пациентах, которые проходили лечение в Европейском Медицинском Центре (ЕМС). По полученным данным была сделана сравнительная характеристика по влиянию выбора угла коллиматора линейного ускорителя для дозиметрических планов облучения пациентов. С учетом всех подобранных параметров для безопасного облучения пациентов был проведен контроль качества (абсолютная и относительная дозиметрия). Абсолютная дозиметрия проводилась

ионизационной камерой фирмы IBA Dosimetry CC13 (Germany), помещенной в цилиндрический фантом из водозквивалентного материала (PMMA). Относительная дозиметрия была выполнена с использованием программного обеспечения Portal Dosimetry фирмы Varian Medical Systems (USA) и детектора MV Image Detector. Помимо этого проанализирована возможная неточность при иммобилизации пациентов: рассчитана и проведена дозиметрия максимальных и минимальных значений абсолютной дозы для каждого смещения изоцентра ( $\pm 5$  мм) и получены средние значения дозы, что позволило исследовать отклонения от предписанной дозы. По полученным данным удалось получить наилучшее расположение изоцентров и оптимальное наложение полей, создающие равномерное распределения дозы.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что по дозовому распределению облучение по методу VMAT не уступает Томотерапии, поэтому эти решения полезны для работы медицинских физиков, не имеющих в своих клиниках данного аппарата.

#### Литература

1. Климанов. В.А. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии. Часть 1. (М: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». 2011).
2. Faiz M. Khan, John P. Gibbons. Khan's The Physics of Radiation Therapy. Fifth Edition. (Wis.:Wolters Kluwer Health. 2014).
3. X. Zhang, J. Penagaricano, E. Y. Han, S. Morrill, M. Hardee, X. Liang, S. K. Gupta, P. M. Corry and V. Ratanatharathom. Dosimetric Comparison of Craniospinal Irradiation Using Different Tomotherapy Techniques. Technology in Cancer Research & Treatment, Vol. 14(4). P.440–446. (2015).

Инженерно-физические технологии биомедицины

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОПОГРАФИИ  
ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА НА ПАРАМЕТРЫ РОСТА  
БИОПЛЁНОК**

***Питерскова Л.С.<sup>1</sup>, Харьков М.М.<sup>1</sup>, Черных Н.А.<sup>2</sup>, Казиев А.В.<sup>1</sup>,  
Кукушкина М.С.<sup>3</sup>***

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет  
МИФИ, Москва*

*<sup>2</sup>ФГБУН Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН,  
Москва*

*<sup>3</sup>Лицей №151 Предвуниверситария НИЯУ МИФИ, Москва  
+79689275865, [piterskova98@mail.ru](mailto:piterskova98@mail.ru)*

Цель: Исследование роста биоплёнок на поверхности металлов (Ti и сплавы на его основе, сплав Pt и Ir), модифицированных в плазме высокочастотного индукционного разряда (ВЧИ).

Задачи: определить параметры плазменной обработки, влияющие на изменение топографии поверхности исследуемых материалов. Определить подходящий рельеф для ускорения роста микробиологических структур.

Актуальность: в медицине развитый микро- и нанорельеф на металлических изделиях приводит к увеличению площади контакта приживаемых клеток к вживляемым элементам [1,4]. Для увеличения рабочей поверхности при выращивании биоплёнок[2].

Перспективы:

-Использование обработанных изделий в качестве инвазивных электродов при разработке протезов для людей с ампутированными конечностями (приживаемость нервных тканей, совместно с компанией «Моторика», Сколково);

-Разработка технологической установки, позволяющей производить экологичную, стерилизующую обработку поверхностей зубных имплантов (кафедра физики плазмы, НИЯУ МИФИ, Москва);

В рамках данной работы:

Для экспериментов были использованы параметры плазмы ВЧИ разряда, полученные на установке «БЭЛЛА»[3].

Проведена серия экспериментов по определению основных параметров плазменной обработки, влияющих на рост структур на поверхности.

Произведен анализ режимов обработки, приводящих к получению принципиально разной топографии поверхностей.

Исследовано влияние развитого рельефа на параметры роста микробиологических культур.

#### Литература

2. Roman A. Perez, Gemma Mestres. Role of pore size and morphology in musculo-skeletal tissue regeneration. *Materials Science and Engineering* (2015)

3. Канарская З. А., Хубатхузин А. А., Абдуллин И. Ш., Калашников Д. И., Гатина Э. Б. Исследование влияния модифицированной наноструктурированной поверхности нитрида титана на жизнедеятельность микроорганизмов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. №19. С.235-240

4. Мещерякова Е.А. Экспериментальное исследование плазмы высокочастотного индукционного разряда низкого давления (2016)

5. David M. Dohan Ehrenfest, Marco Del Corso, Byung-Soo Kang, Philippe Leclercq, Ziv Mazor, Robert A. Horowitz, Philippe Russe, Hee-Kyun Oh, De-Rong Zou, Jamil Awad Shibli, Hom-Lay Wang, Jean-Pierre Bernard,<sup>2</sup> and Gilberto Sammartino. Identification card and codification of the chemical and morphological characteristics of 62 dental implant surfaces. Part 2-4 (2014)



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ РАСПОЗНОВАНИИ КЛЕТОК КРОВИ

***Поляков Е.В.<sup>1</sup>, Никитаев В.Г.<sup>1</sup>, Проницев А.Н.<sup>1</sup>, Кобелев С.А.<sup>1</sup>,  
Дмитриева В.В.<sup>1</sup>, Моженкова А.В.<sup>2</sup>, Тупицын Н.Н.<sup>2</sup>,  
Френкель М.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

<sup>2</sup> *ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии  
им. Н.Н.Блохина» Минздрава России, Москва*

*конт. тел +7-903-005-68-98, e-mail, докладчика voterstreit@inbox.ru*

Диагностика острых лейкозов базируется на изучении морфологических особенностей лейкоэмических клеток периферической крови и препаратов костного мозга, а также включает цитохимический, иммунофенотипический и цитогенетический методы исследования для установления вариантов заболевания. Данные морфологического исследования свидетельствуют о значительной гетерогенности blasts при острых лейкозах. Констатация наличия лейкоэмических клеток, в крови или костном мозге, требует проведения дифференциальной диагностики с другими лимфопролиферативными заболеваниями и с реактивным лимфоцитозом[1].

Цель данной работы – оценка возможностей нейронных сетей при распознавании клеток крови.

Исследования проводились с данными полученными в работах [1-3] и включали четыре класса клеток крови с присвоенными им номерами («Норма» - 0, «фолликулярная лимфома» - 1, «Т-ОЛЛ» - 2, «В-ОЛЛ» - 3). Для проведения исследования разработана программа на языке python с библиотекой «Scikit-learn». Сначала проводилась предобработка исходных данных, заключающаяся в нормировке значений. Использовалась функция активации  $f(x) = \max(0, x)$  (“relu”), алгоритм оптимизации весов – стохастический градиент “adam”. Число нейронов внутреннего слоя – 100.

В результате тестирования с использованием классических для теории распознавания математических моделей путем формирования репрезентативных выборок получены следующие значения доли правильно распознанных клеток для

Инженерно-физические технологии биомедицины

соответствующих классов: 0 – 87%, 1- 94%, 2 – 92%, 3 – 86%.  
Среднее значение составило 89%.

Матрица результатов классификации представлена в таблице 1.

Таблица 1. Матрица результатов классификации по четырем классам  
клеток: «Норма», «фолликулярная лимфома», «Т-ОЛЛ», «В-ОЛЛ»

	В	Limfoma	Norma	Т
В	664	2	2	79
Limfoma	3	359	16	0
Norma	3	20	219	3
Т	93	1	0	522

***Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-07-01496.***

Литература

1. Nikitaev, V. G., Pronichev, A. N., Polyakov, E. V., Dmitrieva, V. V., Tupitsyn, N. N., Frenkel, M. A., and Mozhenkova, A. V.. Application of texture analysis methods to computer microscopy in the visible range of electromagnetic radiation. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 43(10), 306-308, (2016).

2. A.N. Pronichev, E.V. Polyakov, N.N. Tupitsyn, M.A. Frenkel, and A.V. Mozhenkova. The use of optical microscope equipped with multispectral detector to distinguish different types of acute lymphoblastic leukemia. Journal of Physics: Conference Series, 784(1) (2017).

3. Mozhenkova, A. V., Tupitsin, N. N., Frenkel, M. A., Falaleeva, N. A., Nikitaev, V. G., and Polyakov, E. V. Computer microscopy in lymphoma diagnostics. Journal of Physics: Conference Series, 798(1) (2017).

## **РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗ ЗНАНИЙ В СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ КЛЕТОК КРОВИ**

***Поляков Е.В.<sup>1</sup>, Никитаев В.Г.<sup>1</sup>, Проничев А.Н.<sup>1</sup>, Дмитриева В.В.<sup>1</sup>,  
Можженкова А.В.<sup>2</sup>, Тупицын Н.Н.<sup>2</sup>, Френкель М.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

<sup>2</sup>*ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии  
им. Н.Н.Блохина» Минздрава России, Москва*

*конт. тел +7-903-005-68-98, e-mail, докладчика voterstreit@inbox.ru*

Применение методов и средств цифровой обработки изображений и распознавания образов для автоматизации диагностики острого лейкоза представляет значительный интерес, т.к. позволяет при исследовании строения ядерных хроматиновых нитей объективизировать полученные данные в виде числовых индексов, в то время как при визуальной микроскопии получают качественные оценки.

Разрабатываемые методы и средства обработки и анализа изображений для систем цифровой обработки включают разное оборудование, тестируются на разном объеме экспериментального материала и в большинстве случаев данные параметры не описаны в публикациях, что в свою очередь затрудняет воспроизведение результатов исследования.

Одной из проблем в разработке и обучении таких систем является ограниченная база входных данных – изображений клеток крови. Ряд разработчиков используют при проведении своих исследований изображения клеток крови из интернет-ресурсов. Например, Acute Lymphoblastic Leukemia Image Database for Image Processing - ALL-IDB содержит около 400 микроскопических снимков крови при острых лимфобластных лейкозах (размер изображений 2592 x 1944, формат JPEG глубиной цвета 24 бит). На ряду с указанным ресурсом существуют такие как: leukemia-images.com, hematologyatlas.com, ONKODIN Image Bank, European LeukemiaNet.

Основными недостатками приведенных ресурсов является малый объем информации и отсутствие структуризации типа «Пациент – Диагноз – Результаты лабораторной диагностики».

Молодые специалисты вынуждены анализировать неупорядоченные данные.

Цель работы - разработка инструментария по формированию базы знаний по лабораторной диагностике острых лейкозов.

Структура проектируемой базы знаний опирается на алгоритм лабораторного исследования. Система разрабатывается с использованием библиотеки Qt5. Предложенный инструментарий обеспечивает проведение маркировки объектов на изображении, учитывает условия съемки, настройки системы, данные миелограммы и лейкоцитарной формулы.

Создание подобной базы знаний при тесном сотрудничестве с врачами-морфологами является перспективным направлением сразу в нескольких областях:

1) автоматизированные системы диагностики – разрабатываемая база знаний позволит разработчикам глубже анализировать исходные данные и усовершенствовать процедуры обучения и тестирования систем;

2) обучающие ресурсы и системы могут использоваться для обучения молодых специалистов-сотрудников лабораторий иммунологии.

***Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-07-01496***

#### Литература

1. V G Nikitaev, A N Pronichev, E V Polyakov and V V Dmitrieva. Approach to building knowledge bases in information-measuring systems diagnostics of acute leukemias. Journal of Physics: Conference Series, 945(1), (2018).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕНСОРА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАССИФИКАЦИИ КЛЕТОК КРОВИ

Поляков Е.В.<sup>1</sup>, Никитаев В.Г.<sup>1</sup>, Проничев А.Н.<sup>1</sup>, Дмитриева В.В.<sup>1</sup>,  
Можженкова А.В.<sup>2</sup>, Тупицын Н.Н.<sup>2</sup>, Френкель М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

<sup>2</sup>ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии  
им. Н.Н.Блохина» Минздрава России, Москва

конт. тел +7-903-005-68-98, e-mail, докладчика voterstreit@inbox.ru

Камера, используемая в системах компьютерной световой микроскопии, является первичным источником информации, определяющим во многом качество принимаемых врачебных диагностических решений (например, характер опухоли – злокачественная или доброкачественная). При решении задачи распознавания патологических клеток на изображениях микроскопических препаратов в реальных условиях существенную роль играют шум и помехи первичных преобразователей сигнала (в нашем случае камеры). В данной связи проблема шумоподавления является одной из актуальных проблем в области автоматизации микроскопического анализа, кроме того она недостаточно исследована. Последнее накладывает негативный отпечаток на результаты диагностики с применением автоматизированных систем микроскопического анализа в онкологической диагностике.

Цель данной работы – получение предварительных оценок влияния шума на характеристики, по которым проводится классификация клеток крови.

Оценка проводилась на окрашенных препаратах крови и костного мозга. Рассматривалась текстурная характеристика  $R_{LUM}$  [1], рассчитываемая для изображения ядра клетки крови.

Методика исследования заключалась в получении серии из 288 изображений одного поля зрения камеры автоматизированной системой с последующим усреднением и получением результирующего изображения. Далее на полученное результирующее изображение добавлялся нормально распределенный аддитивный шум с разным значением стандартного отклонения. Результаты представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы присутствие шума существенно изменяет значение признака  $P_{LUM}$ . Так при шуме со значением стандартного отклонения (СО) равным 3 значение признака изменяется более чем в 4 раза по сравнению с незашумленным изображением. Различие между признаками для моноблеста и лимфоцита в отсутствии шума составляет 12%, а при шуме с  $CO=3$ , это различие

Таблица 1 результаты исследования влияния шума на текстурные характеристики

№ п/п	Стандартное отклонение	Характеристика $P_{LUM}$			
		моноблест		лимфоцит	
		$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
1.	0	0,362		0,406	
2.	1	0,205	0,006	0,214	0,002
3.	2	0,112	0,004	0,108	0,003
4.	3	0,083	0,002	0,079	0,003
5.	4	0,068	0,002	0,065	0,003
6.	5	0,061	0,002	0,058	0,003

в среднем составляет около 5%. При дальнейшем увеличении шума рассматриваемые два типа клеток становятся практически неразличимы по признаку  $P_{LUM}$ .

***Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07-01456.***

Список литературы:

1. Pronichev, A. N., Polyakov, E. V., Tupitsyn, N. N., Frenkel, M. A., & Mozhenkova, A. V. The use of optical microscope equipped with multispectral detector to distinguish different types of acute lymphoblastic leukemia //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 784(1), 012003, (2017).

2. Blindar, V. N., Nikitaev, V. G., Polyakov, E. V., & Matveeva, I. I. Method of automating of the separation of blasts and lymphocytes in the diagnosis of acute myeloid leukemia //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2017. – Т. 798. – №. 1. – С. 012129.

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ НА МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

***Поляков Е.В.<sup>1</sup>, Никитаев В.Г.<sup>1</sup>, Проничев А.Н.<sup>1</sup>, Дмитриева В.В.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва  
конт. тел +7-903-005-68-98, e-mail, докладчика voterstreit@inbox.ru*

В настоящее время широкое применение при измерениях характеристик объектов в материаловедении, биологии и медицине находят автоматизированные системы компьютерной микроскопии (АСКМ). Автоматизированное распознавание объектов строится на измерении ряда их признаков. Особую сложность при этом представляет распознавание объектов образующих близкие кластеры в пространстве признаков. В этом случае актуальной становится оценка погрешностей измерений и определения внешних и внутренних факторов, влияющих на значение этой погрешности.

Для измерения характеристик объектов выполняют этапы предобработки изображения и выделения объектов. Измерения проводятся не на реальном объекте, а по его цифровому изображению, в связи с чем, могут возникнуть ошибки расчета параметров объекта, связанные с эффектом дискретизации при формировании цифрового изображения.

Цель данной работы оценить составляющую погрешности измерения морфологических характеристик объектов, связанную с операцией дискретизации при формировании цифрового изображения.

В качестве объектов исследования рассматривались изображения клеток крови, полученные с препаратов крови и костного мозга. Были рассмотрены такие морфологические характеристики как площадь, периметр, коэффициент формы. Расчет морфологических характеристик осуществлялся по бинарному цифровому изображению для различных частот дискретизации при формировании цифрового изображения. Оценка погрешности измерения выполнялась путем сравнения с значением соответствующих параметров, рассчитанных для аналогового изображения.

Определена предельно допустимая частота дискретизации, уменьшение которой приводит к недопустимо большой погрешности измерений морфологических характеристик объектов, препятствующей правильной классификации типов клеток крови.

***Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07-01456***

#### Литература

1. Nikitaev, V. G., Pronichev, A. N., Polyakov, E. V., Dmitrieva, V. V., Tupitsyn, N. N., Frenkel, M. A., and Mozhenkova, A. V.. Application of texture analysis methods to computer microscopy in the visible range of electromagnetic radiation. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 43(10), 306-308, (2016).

2. A.N. Pronichev, E.V. Polyakov, N.N. Tupitsyn, M.A. Frenkel, and A.V. Mozhenkova. The use of optical microscope equipped with multispectral detector to distinguish different types of acute lymphoblastic leukemia. Journal of Physics: Conference Series, 784(1) (2017).

3. Mozhenkova, A. V., Tupitsin, N. N., Frenkel, M. A., Falaleeva, N. A., Nikitaev, V. G., and Polyakov, E. V. Computer microscopy in lymphoma diagnostics. Journal of Physics: Conference Series, 798(1) (2017).



## РАСЧЕТ ГИДРОПРИВОДА ЭКЗОСКЕЛЕТА

***Рыбаков И.А., Стукал Д.Г., Михайлов И.В., Воронцова О.И.***

*Астраханский государственный университет, Астрахань*

Процесс восстановления после переломов, вывихов и прочих повреждений занимает длительный период времени, что ведет к мышечной дисфункции и некорректному функционированию суставов. Существующие решения для реабилитации являются узконаправленными или используют только продолжительные пассивные движения (СРМ-терапия). Проект направлен в том числе на решение проблемы длительной реабилитации людей после травм опорно-двигательного аппарата. В отличие от существующих аналогов, комплекс ориентирован на три вида суставов и применяет как СРМ-терапию, так и активные тренировочные упражнения. Что делает возможным ускорить процесс реабилитации. Сегодня во всем мире идет активная разработка таких систем [1-3].

Авторами разработан проект экзоскелета, который будет одеваться на человека и закрепляться на теле ремнями. Одним из важных элементов конструкции является датчик мышечной активности, который считывает импульсы, подаваемые от мозга к мышцам. Данные от датчика поступают в компьютер, где преобразуются в команды для привода экзоскелета.

Для анализа кинематики движений и нахождения углов сочленений конечностей оператора использовалась программа ViconPolygon – профессиональный программный пакет для обработки биометрических данных и представления их в виде презентаций и отчетов [4]. Экспериментально проведенный анализ движений человека поможет составить библиотеку данных к которой в дальнейшем программа может обращаться для получения расчетных значений для регулирования приводами экзоскелета.

В работе приведена линеаризованная математическая модель, описывающая динамику гидропривода ноги экзоскелета. В гидроприводе использованы распределители с пропорциональным управлением, насос с LS-управлением и гидроцилиндры; представлена структурная схема гидропривода, состоящая из

передаточных функций соответствующего вида. В результате моделирования динамики гидропривода были получены логарифмические амплитудные фазовые частотные характеристики [5]. На них показаны запасы по фазе и амплитуде, которые позволяют судить об устойчивости системы. Также показаны переходные процессы для гидроприводов каждой степени свободы ноги (голень, поворот стойки, бедро).

Важной динамической характеристикой систем автоматического управления являются частотные характеристики, достоинство которых состоит в том, что частотные характеристики позволяют просто выявлять влияние того или иного параметра на динамические свойства системы (устойчивость, переходной процесс и т.д.). Частотные характеристики звеньев и систем строятся на основании их комплексных передаточных функций. Для анализа устойчивости исследуемой гидравлической системы управления применяются логарифмические амплитудные фазовые частотные характеристики (ЛАФЧХ) разомкнутой цепи.

#### Литература

1. ЗАО "Лаборатория Электроники" [Электронный ресурс]. – М., ЗАО "Лаборатория Электроники", 2005 – Режим доступа: [www.ellab.info](http://www.ellab.info), свободный. - ElectronicsLab. – Яз. рус.
2. МирПром [Электронный ресурс]. – М., МирПром, 2009 – Режим доступа: <http://www.mirprom.ru>, свободный. – МИРПРОМ. – Яз. рус., англ.
3. Тимофеев, А.В. Адаптивные робототехнические комплексы / А.В. Тимофеев. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 332 с.:ил. – ISBN 5-217-00172-0.
4. Бровкин Е.С., Рыбаков А.В., Шиленко А.С., Рзаев Р.А. Разработка автоматизированных механических систем для реабилитации людей с повреждениями опорно-двигательного аппарата // Международная научная конференция «Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности». АСТИНТЕХ- 2013. Т. 1 — Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2013.— С. 198-199
5. Мусаев Э.С., Цикунова Л.В., Рыбаков А.В. Роботизированная система костюм-экзоскелет "Астра" // ИССЛЕДОВАНИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ - ВКЛАД В ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ РОССИИ Доклады молодых ученых в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК»). г. Астрахань. Т. 1 — 2015.— 3 с. — С. 245-247.

Инженерно-физические технологии биомедицины

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ  
ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РИСКА  
ОТРЫВА АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКОЙ БЛЯШКИ**

***Рыжова Э.А.<sup>1</sup>, Порунов А.А.<sup>1</sup>, Тюрина М.М.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань  
89274651124, elvina-rizhova@yandex.ru*

В клинической практике достаточно часто возникает ситуация, когда приходится принимать решение о возможности хирургического вмешательства для больных атеросклерозом в условиях неопределенности. У хирурга имеется информация только о статических параметрах бляшки: позиция бляшки, скорость кровотока и просвет сосуда [1], что явно недостаточно для принятия решений. В связи с этим возникает необходимость расширения объема информации о параметрах состояния АБ, являющихся результатом ее гидродинамического воздействия с потоком крови и стенками рассматриваемого сосуда. Это позволит прогнозировать момент отрыва АБ, а, следовательно, снизить риск летальных исходов при операциях в сосудистой хирургии.

Целью доклада является разработка и исследование концепции построения системы оценки риска отрыва атеросклеротической бляшки (АБ) для предупреждения летальных исходов при проведении открытых и эндоваскулярных операций в сосудистой хирургии.

В докладе показано, что наиболее информативными параметрами, влияющими на риск отрыва бляшки, являются ее структура, биофизические свойства, такие как адгезия, плотность бляшки, а так же параметры кровотока. Эти параметры могут контролироваться различными неинвазивными методами, такими как УЗИ сердца и сосудов, рентгенография, МРТ, фотоплетизмография. В разрабатываемой системе планируется использовать ультразвуковой метод, так как он отличается высокой информативностью.

Анализ гидродинамических факторов взаимодействия АБ и кровотока в артериях по результатам УЗИ позволили определить силовые факторы, которые влияют на состояние АБ (ее деформация и последующий отрыв от стенки сосуда) [3]:

$$X = c_x \cdot S_{\text{м.с.}} \cdot \frac{\rho V_I^2}{2}; Y = S_{\text{АБ}} \cdot \Delta p;$$

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} \cdot N; F_{\text{ад}} = k_{\text{ад}} \cdot S_{\text{АБ}},$$

где  $X$  – сила лобового сопротивления,  $Y$  – сила отрыва АБ от стенки сосуда,  $F_{\text{тр}}$  – сила трения;  $F_{\text{ад}}$  – сила адгезии;  $V_I$ ,  $S_{\text{м.с.}}$ ,  $S_{\text{АБ}}$  – значения скорости и площадей, полученных по результатам УЗИ;  $\Delta p$  – перепад давлений, полученный на основе перестройки эпюры скоростей [2];  $c_x$  – коэффициент лобового сопротивления АБ;  $N$ ,  $m_{\text{АБ}}$ ,  $f_{\text{тр}}$  – сила веса АБ, масса и коэффициент трения, полученные по результатам гистологических исследований.

В работе предложен вариант концепции построения системы оценки риска потери устойчивости АБ, построенный на следующем алгоритме. На первом этапе решается задача по определению распределения скоростей в критических сечениях сосуда и АБ. На втором этапе решается задача позиционирования и оконтуривания АБ. По полученной информации осуществляют перестройку эпюры скоростей в эпюру давлений, определяют численные значения силовых факторов с воспроизведением решающих правил определения отрыва АБ. Результаты этих расчетов позволяют проводить прогнозную оценку момента отрыва АБ.

Таким образом, представленный материал обосновывает состав силовых факторов для оценки гидродинамической стабильности АБ в артериях сердечнососудистой системы. Применение этой методики в лечении пациентов с АБ позволит предупредить летальные исходы при проведении открытых и эндоваскулярных операций в отделениях сосудистой хирургии.

#### Литература

1. К. Каро, Т. Педли, Р. Шротер, У. Сид. Механика кровообращения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 624 с.
2. П.П. Кремлевский. Расходомеры и счетчики количества. Изд. 4-е, перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1989г., 654с.
3. Э.А. Рьжова, М.М.Тюрина, А.А. Порунов. Особенности задачи прогнозирования и построения системы диагностики тромбоземболии/ Сборник Международной молодежной НТК «XXIII Туполевские чтения». – Казань, 2017. – С.86-90.

Инженерно-физические технологии биомедицины

**МЕТОДИКА ВЕРИФИКАЦИИ ФЛЮЕНСА НА  
СКАНИРУЮЩЕМ ПРОТОННОМ ПУЧКЕ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА**

**Сабуров В.О., Соловьев А.Н., Моисеев А.С., Казаков Е.И.**

*МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава  
России, Обнинск  
e-mail: vosaburov@gmail.com*

Исследование влияния пучков заряженных частиц на работоспособность микроэлектронных компонент, таких как оптоэлектронные модули, микросхемы, печатные платы, является одной из важных задач прикладного назначения. Анализ радиационной стойкости таких изделий в пучках протонов различных энергий позволяет моделировать их поведение на земной орбите или при дальних космических перелётах, где они подвержены постоянному действию солнечного ветра, а также радиационных поясов Земли.

Протонный сканирующий пучок ускорительного комплекса медицинского назначения (производство ЗАО «ПРОТОМ», г. Протвино), установленный в МРНЦ им А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ Радиологии» Минздрава России также может использоваться для решения подобных задачи [1]. Однако, типовые размеры оптоэлектронных модулей, используемых в космической отрасли, составляют 15-20 мм, а размеры печатных плат могут достигать 50 мм. В то же время, размеры выводимого ускорительным комплексом протонного пучка не превышают 7 мм, а на энергиях, соответствующих наиболее вероятному значению энергии протонов при нахождении околоземной орбите (200 МэВ [2]) – 2,5 мм [3]. Это означает необходимость использования сканирующей системы для обеспечения равномерной плотности потока протонов заданной энергии через поверхность размера, оптимального для облучения соответствующего электронного изделия. Для эффективного использования комплекса была предложена методика, основанная на применении Монте-Карло алгоритмов с последующей минимизацией используемого числа пучков [1]. Однако при этом возникает вопрос абсолютной нормировки отпускаемого потока.

Классическим решением для исследований интенсивности пучков является активационный анализ, при котором методами спектрометрии анализируются выход линий гамма-частиц, возникающих в результате ядерных взаимодействий. В настоящей работе предлагается комплексная расчётно-экспериментальная методика верификации числа частиц, прошедших через поверхность заданного размера при облучении сканирующим пучком протонов. В основе методики лежат измерения выхода характерных линий образующихся изотопов через определённые промежутки времени вместе с учётом геометрического фактора и с использованием расчётной модели распада. Методика была апробирована на квадратном образце 15x15 мм с использованием двух схем выгрузки (760 и 144 единичных пучков) протонов (энергии 100 и 200 МэВ) с использованием листового железа марки М165-35S, спектрометра в составе блока детектирования БДКГ.01Ф и анализатора АЦП-USB-8К-В, и расчётной модели Geant4. Измерения проводились через 0, 45, 60 минут и 1 сутки после облучения. Измеренные показатели общей интенсивности совпали с ожидаемыми в пределах 2 %, а временные характеристики распада – 3 %.

Предложенная методика может эффективно применяться при калибровке ускорительной техники, при проведении регламентных работ по её обслуживанию, верификации иных дозиметрических систем, а также в задачах прикладной радиобиологии.

#### Литература

1. А.Н. Соловьев и соавт. Использование сканирующего протонного пучка для облучения микроэлектронных компонент. Радиация и организм: материалы научно-практической конференции. Обнинск: МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ "НМИЦ Радиологии" Минздрава России. С. 109-110 (2017)
2. A.N. Petrov et al. Creation of model of quasi-trapped proton fluxes below Earth's radiation belt. Space Research. 43. P. 654-658 (2009)
3. С.Е. Ульяненко и соавт. Экспериментальные подходы к повышению эффективности облучения сканирующим пучком протонов. Радиация и организм: материалы научно-практической конференции. Обнинск: МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ "НМИЦ Радиологии" Минздрава России. С. 123-125 (2017)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ТЕКСТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕР ЛЕЙКОЦИТОВ В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ**

***Садова А.А.<sup>1</sup>, Никитаев В.Г.<sup>1</sup>, Проничев А.Н.<sup>1</sup>,  
Поляков Е.В.<sup>1</sup>, Дмитриева В.В.<sup>1</sup>, Моженкова А.В.<sup>2</sup>,  
Тупицын Н.Н.<sup>2</sup>, Френкель М.А.<sup>2</sup>,***

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

<sup>2</sup>*Российский онкологический научный центр им. Н.Н.Блохина, Москва  
конт. тел +7985-448-43-35, e-mail, докладчика n.sadova2014@yandex.ru*

Исследование и применение систем компьютерной микроскопии при диагностике острых лейкозов требует проведения сложных и затратных многофакторных экспериментов, поэтому задачу проектирования необходимо решать по частям, с последующим объединением частных результатов.

Автоматизированная обработка клеток крови включает ряд этапов: предварительную обработку; описание исследуемых объектов на языке признаков; классификацию (например, по типу клетки бласт — небласт).

Особенностями, затрудняющими анализ микроскопических изображений, рассматриваемых клеток крови, является близость в пространстве характеристик кластеров разных типов, что в целом ряде случаев объясняется значительным визуальным сходством бластных и небластных клеток.

Работа посвящена актуальному направлению оценки информативности характеристик описанных в статье[1].

Целью работы является экспериментальное исследование информативности текстурных и вейвлет характеристик, по отдельности и в сочетаниях, используемых при описании ядер лейкоцитов для диагностики острых лейкозов.

Для проведения исследования сформирована выборка из 45 гематологических препаратов (17 препаратов периферической крови и 28 препаратов костного мозга из них: 12 препаратов с Т-ОЛЛ и 16 с В-ОЛЛ).

Все препараты были фиксированы и окрашены по методу Май-Грюнвальд-Романовского. Морфологическое исследование мазков крови и аспиратов костного мозга осуществлялось в лаборатории

иммунологии гемопоэза ФГБУ «РОНЦ им. Н.Н. Блохина» МЗ РФ двумя экспертами. Диагноз ОЛЛ был установлен на основании морфологического, цитохимического и иммунофенотипического исследований.

Для оценки информативности текстурных и вейвлет характеристик применялись объективные параметры, именуемые операционными характеристиками исследования (теста): чувствительность, специфичность и точность[2].

Получены предварительные экспериментальные данные. Чувствительность Т-ОЛЛ и В-ОЛЛ 81%, доноров и Т-ОЛЛ 78%, доноры и В-ОЛЛ 82%. Специфичность: Т-ОЛЛ и В-ОЛЛ 80%, доноров и Т-ОЛЛ 77%, доноры и В-ОЛЛ 84%. Точность Т-ОЛЛ и В-ОЛЛ 80%, доноров и Т-ОЛЛ 79%, доноры и В-ОЛЛ 83%. Полученные результаты свидетельствуют о близости кластеров клеток в признаковом пространстве. Актуальным направлением является дальнейший поиск оптимальных характеристик для разделения клеток, подбор классификатора и функций расстояния.

Предполагаемое развитие работы в направлении применимости текстурных и вейвлет характеристик вместе и по отдельности для расширенной выборки.

#### Литература

1. В.Г. Никитаев, О.В. Нагорнов, А.Н. Проничев, Е.В. Поляков, В.Ю. Сельчук, К.С. Чистов, В.Н. Блиндарь, В.В. Дмитриева, С.М. Зайцев, В.В. Гордеев. Исследование эффективности применения вейвлет-анализа в информационно-измерительных системах диагностики острых лейкозов. Измерительная техника №10, Стр. 59-62, (2014).

2. А.Ю. Васильев, А.Ю. Малый, Н.С. Серова. Анализ данных лучевых методов исследования на основе принципов доказательной медицины: учебное пособие (М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008).



Инженерно-физические технологии биомедицины  
**НАНОКОНТЕЙНЕРЫ por-Si ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ  
КАРАМАЗЕПИНА**

***Слипченко Е.А., Абрамова Е.Н., Яковенко А.Г., Хорт А.М.,  
Швец В.И., Цыганкова М.В., Львовский А.И.***

*Московский технологический университет. Институт тонких  
химических технологий им. М.В. Ломоносова, город Москва  
89163158531, slipchenko-katya@mail.ru*

Интерес к пористому кремнию как перспективному материалу для его использования в биомедицинских целях обусловлен уникальными свойствами данного материала: биосовместимостью, биодоступностью, способностью к биодеградации и нетоксичностью. Одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений использования в данной области пористого кремния является создание наноконтейнеров для адресной доставки лекарств к патологическим зонам организма человека.

Для решения данной задачи необходимо решить ряд вопросов, связанных с получением и свойствами самого пористого кремния.

Для определения оптимальных условий получения частиц por-Si с заданными параметрами, служащими контейнерами лекарственных препаратов, ранее нами был изучен собственно процесс порообразования в Si и предложен механизм пористого травления кремния [1-4]. На основе этого в ходе данной работы были выбраны оптимальные условия получения por-Si с заданными параметрами для изготовления наноконтейнеров и загрузки в них карбамазепина (препарат психоневрологического действия): радиальными размерами пор  $\sim 20-50$  нм, пористостью более 50 % и размером самих частиц 50-100 нм. В качестве исходных материалов использовался кремний р-типа проводимости с удельным сопротивлением 10 и 50 Ом·см. Травление осуществлялось в стандартной вертикальной электрохимической ячейке в гальваностатическом режиме при плотностях тока 5-50 мА/см<sup>2</sup> в течение 30 минут.

С целью получения частиц пористого кремния, заданного размера, использовалась ультразвуковая обработка получаемых слоев с последующим центрифугированием и сепарацией. Ультразвуковая обработка слоев por-Si сразу после их

изготовления производилась в течение 4 часов в водной или спиртовой среде при частоте 35 кГц мощности 80 Вт.

Исследование наночастиц производилось на анализаторах размеров частиц Delsa™Nano, LS13320 и с использованием электронного микроскопа Jeol 2007.

Было установлено, что предложенная технология позволяет получать частицы por-Si с заданными размерами.

Одновременно было установлено, что частицы ПК имеют отрицательный заряд, возникновение которого объясняется механизмом химического взаимодействия иона-травителя ( $\text{HF}_2^-$ ) с Si, предложенный нами ранее. Этот фактор необходимо учитывать при выборе лекарственного препарата, загружаемого в контейнер.

#### Литература

1. Е.Н. Абрамова, А.А. Гвелесиани, А.М. Хорт, А.Г. Яковенко. Журн. неорганической химии. Т.59. №11. С.1574-1578 (2014)
2. E.N. Abramova, A.M. Khort, Yu.V. Syrov, A.G. Yakovenko, V.I. Shvets. Nanopore formation during electrolytic etching of silicon in hydrofluoric acid solutions. Neorganicheskie Materialy. Vol.51. No.8. P.815–822 (2015).
3. E.N. Abramova, A.M. Khort, Yu.V. Syrov, A.G. Yakovenko, V.I. Shvets. Morphology of pores produced in *n*-Si {100} by etching in hydrofluoric acid solutions. Neorganicheskie Materialy. Vol.52. Issue 10. P.1047–1053 (2016).
4. E.N. Abramova, A.M. Khort, A.A. Gvelesiani, A.G. Yakovenko, V.I. Shvets. A Model of the mechanism of the chemical interaction of the etchant ion ( $\text{HF}_2^-$ ) with silicon during its electrochemical etching in hydrofluoric acid solutions. Doklady Akademii Nauk. Vol.470. Issue 2, P.172–175 (2016).

Инженерно-физические технологии биомедицины

**НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ  
РЕГЛАМЕНТНЫХ ПРОЦЕДУР КОНТРОЛЯ ГАРАНТИЙ  
КАЧЕСТВА ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ**

***Соловьев А.Н.<sup>1</sup>, Сабуров В.О.<sup>1</sup>, Шершнев Р.В.<sup>1,2</sup>, Шемяков А.Е.<sup>3</sup>,  
Пряничников А.А.<sup>2,3</sup>***

*<sup>1</sup> МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава  
России, Обнинск*

*<sup>2</sup> НИЯУ МИФИ, Москва*

*<sup>3</sup> ЗАО «ПРОТОМ», Протвино  
e-mail: salonf@mrrc.obninsk.ru*

Протонная лучевая терапия является одним из передовых методов лечения онкологических заболеваний [1], которая активно развивается в настоящее время как во всём мире, так и в России [2]. Протонный синхротрон со сканирующим пучком «Прометеус» (производство ЗАО «ПРОТОМ», г. Протвино) является инновационным изделием российского производства, открывающим новые возможности эффективного лечения онкологических больных. Терапевтические комплексы на базе синхротрона в настоящее время установлены на двух площадках: на базе городской больницы г. Протвино, а также в МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. К настоящему времени прошло лечение более чем 150 пациентов [3].

Одними из важнейших процедур, влияющих на качество оказываемых радиологических медицинских услуг, являются ежедневные, еженедельные, ежемесячные и иные регламентные работы по контролю и обеспечению гарантий качества лучевой терапии. В состав этих работ включены также процедуры контроля ускорительной техники. Однако существенной проблемой, в том числе и в мировой практике, является то, что подавляющее число подобных процедур выполняются операторами ускорителя в ручном режиме. Это несколько снижает эффективность эксплуатации медицинских комплексов в клиническом режиме, приводит к необходимости использования ненормированного рабочего дня операторов установки, а также не позволяет исключить ряд ошибок, вызванных человеческим фактором.

В процессе эксплуатации установок «Прометеус» были проанализированы характерные времена проведения регламентных процедур и рассмотрены возможности их автоматизации. В то время как непосредственно облучение пациента проходит в течение короткого времени (в среднем около 5 минут при 10 минутах нахождения пациента в процедурной [3]), часть процедур, входящих в регламентные работы, в частности запуск ускорителя, может занимать значительное время. На первом этапе автоматизации было предложено оптимизировать процесс запуска ускорителя после ночного простоя, при котором требуется плавное поднятие напряжения и контроль вакуума на линейном ускорителе протонов (инжекторе синхротрона), включая выдержку на напряжении в 630 кВ не менее 20 минут – так называемая процедура «тренировки» трубки. Было написано специальное программное обеспечение, осуществляющее контроль соответствующих параметров ускорительного пульта, а также их эффективное переключение по выбранному алгоритму, которое проводит «тренировку» в автоматическом режиме без участия оператора.

Разработанное программное обеспечение было успешно апробировано в контрольных испытаниях. Оно позволяет сэкономить более 200 часов в год работы ускорителя (из расчёта 250 рабочих дней в год). В дальнейшем предполагается рассмотрение автоматизации других технологических процессов, а также процедур выполнения дозиметрического контроля пациенто-специфичных гарантий качества лучевой терапии.

#### Литература

1. А.Д. Каприн, С.Е. Ульяненко. Адронная терапия: точки развития. Медицина: целевые проекты. № 23. С. 56-59 (2016)
2. И.А. Гулидов и соавт. Новые возможности для протонной терапии в России. Вопросы онкологии. Т. 62. № 5. С. 570-572 (2016)
3. В.Е. Балакин и соавт. Двухлетний опыт работы комплекса протонной терапии «Прометеус» в клинических условиях. Материалы Международной научно-практической конференции «Ядерная медицина и лучевая терапия: современное состояние и ближайшие перспективы» (7 декабря 2017, Москва). С. 7-8 (2017)

Инженерно-физические технологии биомедицины  
**БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПОРИСТОГО СВМПЭ С  
УЧАСТИЕМ ДИАТОМЕЙ**

**Статник Е.С.**

*НИТУ «МИСиС», Москва  
+7 (977) 603-00-39, [statnikzenia@mail.ru](mailto:statnikzenia@mail.ru)*

Создание и развитие инженерных материалов всегда являлись неотъемлемой частью технического прогресса. Одним из перспективных и актуальных направлений последнего десятилетия является открытие, разработка и производство целого ряда полимерных материалов, определяющих современный уровень развития таких важнейших областей знания, как медицина и фармацевтика, биотехнология и экология, и других, объединяемых понятием *life sciences and technologies*. Область биоматериалов – ярко выраженная междисциплинарная область, в которой используют достижения химии, физики, медицины, металлургии, электроники и биотехнологии [1].

Развитие данного направления способно разрешить целый ряд востребованных проблем, а именно имплантологии, фильтрации, а так же проблем мирового океана. В настоящее время интенсивно исследуются биосовместимые полимеры, такие как полиэфирэфиркетон (ПЭЭК), сверхмолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), полисульфон (ПСФ) и другие.

С медико-биологической точки зрения, свойства поверхности имплантата являются решающими для многих применений в медицине. Поэтому одним из основных направлений в разработке новых инженерных материалов является целенаправленное модифицирование поверхности на всех размерных уровнях, обеспечивающее максимальные характеристики объекта, т.е. создание композитного материала.

В данной работе создание композитного материала происходит путем биоминерализации пористого СВМПЭ с участием диатомей.

Диатомеи – одноклеточные, эукариотические микроорганизмы, принадлежащие к царству хромисты (*Chromista*) и составляющие обособленный, высокоорганизованный тип *Vacillariophyta*. При поселении образуют разнообразные колонии: нити, цепочки, ветвистые трубочки и другие. Клетка диатомеи окружена

биосиликатной оболочкой – панцирем, состоящим из двух створок, плотно надвинутых своими краями одна на другую. Состав панциря содержит примерно 95,6% аморфного кремнезема, а также небольшое количество железа, алюминия, магния и органических веществ. Стенки створок панциря пронизаны орнаментом из мельчайших отверстий – пор (ореол), имеющих разнообразную структуру (рис. 1).

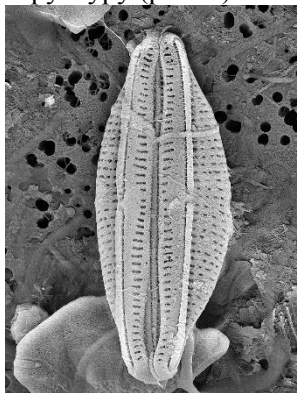


Рис. 1. Строение клетки диатомеи.

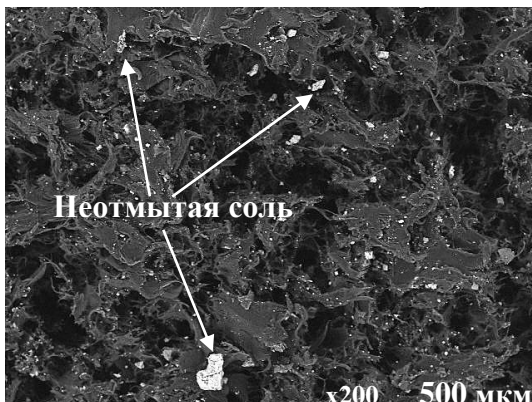


Рис. 2. Структура пористого СВМПЭ.

Для создания пористой подложки использовался СВМПЭ со средней молекулярной плотностью  $5 \cdot 10^6$  г/моль. В качестве легкорастворимого наполнителя использовалась поваренная соль NaCl. Смешение порошков СВМПЭ с поваренной солью производилось в твердом состоянии с использованием планетарной мельницы в соотношении 9:1 (NaCl / СВМПЭ) для получения оптимальной пористости 60 ... 70%. Затем полученную смесь загружали в пресс-форму и подвергали термопрессованию в течение 2 часов под давлением 5 атм и температуре  $180^\circ\text{C}$ . Процесс удаления соли из образцов осуществлялся методом выщелачивания. После удаления соли образцы сушились в течение 2 часов при температуре  $100^\circ\text{C}$  [2]. Полученную пористую структуру исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа (рис. 2).

В нашем эксперименте образцы пористого полиэтилена были экспонированы в подвешенном состоянии в накопительных культурах диатомей из Калининградского залива Балтийского моря. Наиболее мощные и стабильные обрастания материала образовали клетки бентических диатомей *Karayevia amoena*. Разномасштабные элементы колониального поселения диатомей *K. amoena* на поверхности СВМПЭ представлены на рис. 3.

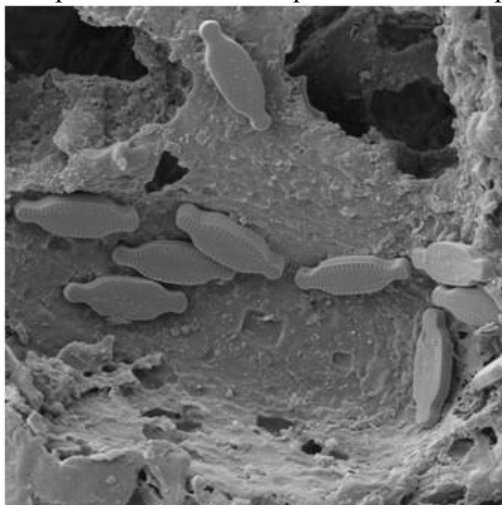


Рис. 3. Колониальные цепочки диатомей на впадинах рельефа пористого СВМПЭ

Таким образом, нами был предложен метод получения инновационных материалов с использованием возобновляемых ресурсов путём биоминерализации инженерных полимеров при колонизации их поверхности диатомеями.

#### Литература

1. The Chemical Journal. Тема номера №6, «Биоматериалы». (Июнь 2017).
2. F.E. Round, R.M. Crawford and D.G. Mann. The diatoms. Cambridge University Press 1990.

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВИРТУАЛЬНОГО ИМПАКТОРА АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ МИКРОННОГО РАЗМЕРА

Столяров С.В.<sup>1</sup>, Котковский Г.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИЯУ МИФИ, Москва

<sup>2</sup>НИЯУ МИФИ, Москва

89645961493, [rbw16@yandex.ru](mailto:rbw16@yandex.ru)

Одной из опасностей современного мира является биотерроризм, один акт которого может унести тысячи жизней. Поэтому обнаружение биопатогенных аэрозолей в воздухе имеет важное значение для разработки программ и методов, с помощью которых будет обеспечено безопасное существование человека в окружающей его среде.

Существующие на сегодняшний день пробоотборные устройства с жидкой фазой и предварительным концентрированием аэрозолей в пробоотборном потоке на основе виртуальных импакторов крайне малочисленны. Целью данной работы является расчет параметров виртуального импактора аэрозольных частиц, как предварительного концентратора двухстадийной системы отбора пробы, работающей с частицами микронного диапазона и большими объемными скоростями.

На первом этапе проводилась расчетная оценка параметров устройства отбора воздушных аэрозолей, работающего по принципу виртуального импактора. Расчеты были произведены исходя из величин выбранных воздушных потоков и коэффициентов, которые отвечают за ламинарность потока (течение потока жидкости или газа происходит без перемешивания и пульсаций). К этим коэффициентам относятся число Рейнольдса  $Re$  для потока, квадратный корень из числа Стокса, который называется критическим значением числа Стокса и отношение расстояния от входного до выходного сопла коллектора  $S$ , деленное на ширину входное сопла  $W$  [1].

На втором этапе было смоделировано движение частиц воздуха в секции виртуального импактора и получено распределение частиц воздуха по скоростям в каждой точке области расчета (одна секция импактора).



На третьем этапе была проведена виртуальная проверка полученных параметров импактора с учетом полученного распределения частиц воздуха по скоростям при помощи написанной программы для расчета эффективности виртуального импактора. Результат представлен на рисунке 1.

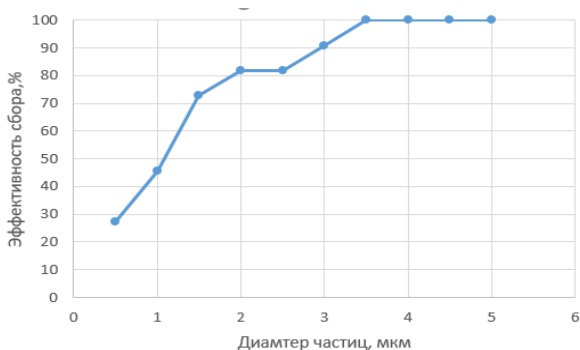


Рисунок 1. Эффективность сбора аэрозольных частиц микронного размера.

На основании полученных данных была изготовлена рабочая модель данного устройства, соответствующая заложенным параметрам.

На последнем этапе была проведена экспериментальная проверка эффективности данного устройства с испытанием его в аэрозольной камере.

## Литература

1. Marple V.A. Inertial Impactors: Theory, Design and Use / V.A. Marple, K. Willeke // Fine Particles: Aerosol Generation, Measurement, Sampling and Analysis (B.Y.H. Liu, editor), Academic Press, New York, 1976.- P.411-446.

Инженерно-физические технологии биомедицины  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ  
 ERICA TOOL 1.2. В РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОМ  
 МОНИТОРИНГЕ**

<sup>1</sup>Султанбек кызы Чынара, <sup>1</sup>Калдыбаев Б.К.

*Биолого-почвенный институт НАН КР, г.Бишкек, Кыргызстан  
 конт. тел.: +996 700427118, e-mail: [chinara-sultanbekova@mail.ru](mailto:chinara-sultanbekova@mail.ru)*

Компьютерные программы и математическое моделирование в настоящее время широко используются в радиоэкологическом мониторинге окружающей среды. Программа Erica tool 1.2. это программное обеспечение, которое используется для оценки радиационной опасности для наземных, пресноводных и морских экосистем. Зная содержания радиоактивных элементов в почве или в воде, программа производит расчеты и моделирует их содержания для растений, животных и других организмов, а также дает оценку доз радиоактивного облучения. Программа Erica tool 1.2. включает в себя следующий алгоритм действий (рис.1).

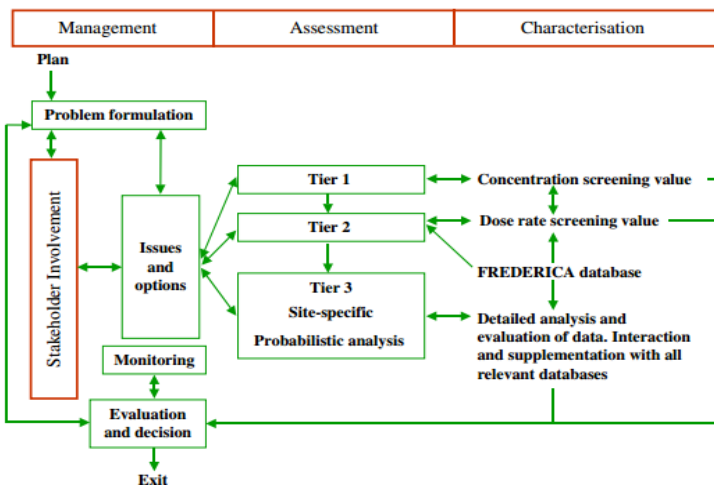


Рис.1. Алгоритм программы Erica tool 1.2.

Элемент оценки состоит из трех разделов, если значение радиационного фактора незначительно, то можно ограничиться разделом 1. Если значение радиационного фактора повышено, то действие рекомендуется продолжить в разделе 2. Для более детальной оценки радиационного фактора на живые организмы применяется раздел 3. Для радиоэкологической оценки нами были использованы опубликованные результаты удельной активности грунта и почв уранового хвостохранилища Каджи-Сай, которые были введены в программу Erica tool 1.2 [1,2,3].

Полученные результаты:

1. Общий фактор риска составил 470,7. По радионуклидам высокий фактор риска наблюдается у  $^{226}\text{Ra}$  – 384,2;  $^{230}\text{Th}$  – 58,3;  $^{238}\text{U}$  – 23,7.

2. Наиболее высокую поглощенную дозу облучения получают следующие организмы: мхи и лишайники (1291,476 мкГр/час), кустарники (514,1778 мкГр/час), травянистые растения (343,6976 мкГр/час).

3. Мхи и лишайники способны накапливать радионуклиды больше чем другие организмы  $^{210}\text{Pb}$  – 31500 Бк/кг,  $^{226}\text{Ra}$  – 7560 Бк/кг,  $^{230}\text{Th}$  – 5890 Бк/кг,  $^{238}\text{U}$  – 2870 Бк/кг. Коэффициент риска для них составил 34,37.

4. Согласно базы данных радиобиологических эффектов программы Erica tool 1,2 облучение живых организмов в данных диапазонах поглощенных доз не вызывает летальных эффектов, однако может способствовать увеличению уровня морфобиологических нарушений.

Литература

1. Дженбаев Б.М., Жолболдиев Б.Т., Калдыбаев Б.К. Современное состояние Иссык-Кульской урановой радиобиогеохимической провинции. Радиационная биология. Радиоэкология. – Т.53, № 4. – С.432-440 (2013).

2. Калдыбаев Б.К., Дженбаев Б.М. Экология и биогеохимия горных таксонов биосферы. (Germany: Lap Lambert Academic Publishing. 2015).

3. В. Djenbaev, В. Kaldybaev, Т. Toktoeva, А. Kenjebaeva. Radiobiogeochemical Assessment of the Soil Near the Issyk-kul Region. Journal of Geological Resource and Engineering (USA) 1 p.39-43 (2016).

Инженерно-физические технологии биомедицины

**МЕТОД ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
МЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Талатов Ё.Т.**

*Ташкентский Государственный Технический Университет, г.Ташкент*

*Тел: +998974422521, [yokubt@rambler.ru](mailto:yokubt@rambler.ru)*

Проблема проектирования медицинских технологических процессов является актуальной задачей с точки зрения системного анализа и построения интеллектуальных экспертных систем, способных изменить в процессе функционирования свою структуру и содержание. Создание интеллектуальных экспертных систем на основе трудно формализуемых задач медицинской технологии является трудно решаемой задачей. Такая проблема может быть решена только при существовании эффективного метода формализации и алгоритмизации объекта и процесса исследования в медицинской технологии.

Медицинская технология представляет собой сложную многокомпонентную иерархическую систему аналогично живому организму (универсум). Под иерархичностью здесь понимается то, что компоненты системы сами имеют сложную структуру. При анализе живого организма и их составных компонентов приходится решать огромное число разнообразных взаимосвязанных задач

Поэтому необходим комплексный подход к анализу универсума, обеспечивающего создание взаимоувязанной системы управления, включающей совместное функционирование структурно - функциональных компонентов живой системы с одной стороны, создание интеллектуальной алгоритмической системы начиная от создания базы данных медико - биологической информации (МБИ) до принятия решений по диагностике и прогнозу заболеваний.

Таким подходом, по нашему мнению, является структурно-алгоритмический метод [1], представляющий анализ и обработку медико-биологической информации как решение иерархически взаимосвязанных проблем и задач медицины, основанное на использовании единых логических, информационных и программно-алгоритмических средств, реализуемых семействами языков программирования, системой баз данных и моделей универсума, системой математического обеспечения .

Принципами структурно-алгоритмического метода являются:

а) концептуальная целостность, заключающаяся в рассмотрении проблемы анализа и обработки информации как целостной, а анализ и обработки информации - как процесс последовательной декомпозиции этой проблемы на ряд иерархически упорядоченных проблем и задач;

б) адекватность, заключающаяся в том, что структура проблемы АОМБИ (и ее декомпозиция) изоморфна структуре исследуемого объекта, так что каждая подпроблема, задача и т. д. решаются для отдельного компонента исследуемого объекта;

в) формальность, заключающаяся в том, что все проблемы, задачи проектирования, объекты и их характеристики, а также алгоритмы и процедуры задаются формализованными описаниями на соответствующих языках, что обеспечивает возможность автоматизации процедур проектирования;

г) полная контролируемость, состоящая в том, что контроль и тестирование результатов проектирования проводятся на всех этапах и для всех задач. Это обеспечивается формальными описаниями требований к объектам проектирования и созданием специальных средств контроля;

д) информационная локализованность, позволяющая ограничить доступ к внутренней структуре данных с других уровней, что обеспечивает модульность и модифицируемость систем проектирования и управления и определяется тем, что каждой подпроблеме (задаче) проектирования соответствует свой уровень абстракции, на котором представлена проектируемая система.

На основе предложенного структурно-алгоритмического метода разработана структура интеллектуальной системы анализа и обработки МБИ, состоящие из логических, информационных, алгоритмических и программных средств, а также наличия семейства языков, позволяющих описывать проектируемые объекты, задачи проектирования и алгоритмы их решения.

Литература

Кабулов В.К., Гуськов Г.Я., Магруппов Т.М. Концептуальное проектирование МВСС. (Ташкент. Фан.1980) 224 с.

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ  
КРОВИ ДЕТЕЙ С СИНДРОМОМ ХРОНИЧЕСКОЙ  
ГЕМАТУРИИ ПРИ ПОМОЩИ РАСТРОВОЙ  
ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ.**

**Толстоухова В.П.<sup>1</sup>, Мамаева С.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> *Северо-Восточный федеральный университет им.М.К. Аммосова, г.  
Якутск,  
89141097594, e-mail [leratol96@mail.ru](mailto:leratol96@mail.ru)*

Актуальность. В последнее время в республике Саха (Якутия) наблюдается тенденция роста почечных заболеваний среди детей, в том числе хронический гломерулонефрит и болезнь Берже, которые впоследствии часто приводят к хронической почечной недостаточности больных и инвалидизации [1-3]. Поэтому результаты исследования морфологии эритроцитов и других биологических объектов в мазках крови при гематурическом синдроме являются важной информацией для диагностирования почечных заболеваний. Цель. Аналитическое исследование эритроцитов крови детей с синдромом хронической гематурии методом математической статистики при помощи растровой электронной микроскопии.

Практическая часть. Материалы и методы исследования. Исследованы мазки крови детей, больных с синдромом гематурии. Исследование проводилось на базе Республиканской больницы №1 – Национального центра медицины города Якутска. На данном этапе были исследованы более 20 человек, из 4 – больных IgA-нефропатией, 2 – с хроническим гломерулонефритом, 2 – тубулоинтерстициальный нефрит, и 6 – не имеющих синдрома гематурии, составляющих контрольную группу.

В данной работе предлагается новый метод исследования изменения морфологии клетки и выявления неидентифицированных нанообъектов с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) высокого разрешения JSM-7800F (Japanese Electron Optics Laboratory, JEOL, Япония) [4].

Исследования проводились при ускоряющем напряжении 1 кВ и 2 кВ с подачей напряжения на исследуемый объект от 8 до 10 В. Измерения были проведены нижним детектором вторичных

электронов. Выбор такого режима измерения позволил проводить исследования без напыления проводящих покрытий и без повреждения исследуемого объекта.

Заключение. Исследование на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-7800F такого объекта, как образец мазка крови, показало, что при определенных заболеваниях наблюдаются нанообъекты на поверхности эритроцитов, что было невозможно обнаружить при исследованиях на электронных микроскопах более раннего поколения. Можно предположить, что эти объекты имеют органическое происхождение, так как многие органические объекты являются диэлектриками и при изучении с помощью РЭМ они могут быть видны как яркие светящиеся объекты. Нанообъекты имеют размеры сходные с размерами малых вирусов и могут являться подтверждением предположения о возможном вирусном этиологическом факторе заболевания Берже и других видов нефропатий. Выявление методом РЭМ без напыления исследуемых образцов изменения количества этих объектов в сторону увеличения при заболеваниях хронический гломерулонефрит по сравнению с количеством этих частиц на поверхности эритроцитов после лечения, является одним из более точных методов исследования морфологии клеток крови и вносит существенный вклад в улучшении качества диагностирования данного сложно диагностируемого заболевания. Дальнейшее увеличение статистики и анализ объектов нанометровых размеров расширит знания о проявлениях заболевания и привнесет свой вклад в методах диагностирования заболеваний с синдромом гематурии.

Литература:

1.Р. Ж. Аткинс. Гломерулонефриты. Журнал Нефрология и диализ. Т.2; №4: с. 225–229. (2000).

2.Н. А. Мухина. Нефрология: национальное руководство (2009).

3.J.Feehally, J. Cameron IgA Nephropathy: Progress Before and Since Berger. Vol. 58.2, P. 310–319 (2011).

4.Официальный сайт компании JEOL. URL: [http://jeolrus.com/products/d\\_products/jsm-7800f/index.html](http://jeolrus.com/products/d_products/jsm-7800f/index.html) (дата обращения: 20.02.2015).

5.У. Жу, Ж.Л. Уанга. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение. -582 с. (М: БИНОМ. Лаборатория знаний 2013).

Инженерно-физические технологии биомедицины  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВО  
ВСПЕНЕННЫХ СТРУКТУРАХ**

***Тумачёв Д.Д.<sup>1</sup>, Гаврилов С.А.<sup>2</sup>, Ювченко С.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> Астраханский государственный университет, Астрахань

<sup>2</sup> Саратовский государственный технический университет, Саратов  
+79297420832 e-mail: d.tumachev@mail.ru

В настоящее время бурно развивается область физики, связанная с исследованием и использованием вспененных структур. В частности, в тканевой инженерии в настоящее время широко применяются процессы вспенивания биорастворимых полимеров применительно к созданию высокопористых матриксов для проращивания клеточных структур (см., например, [1-3]). Несмотря на значительное количество работ в данной области, не до конца исследовано влияние различных факторов на скорость эволюции пены (в частности, температуры системы), в связи с чем, являются актуальными исследования в указанной выше области.

Целью данной работы является исследование влияния температуры на процесс эволюции структуры изолированных вспененных жидкостей в изотермических условиях при различных температурах.

В работе приведены результаты исследования процессов, происходящих при вспенивании структур, в данном случае, пены для бритья. Были построены графики, гистограммы, представленные на рис. 1,2.

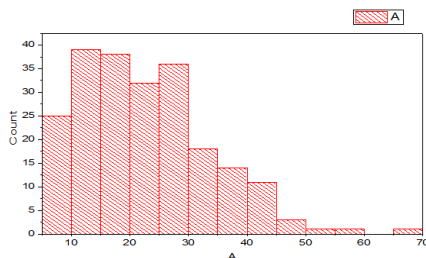


Рис.1. Распределение пузырей по размерам



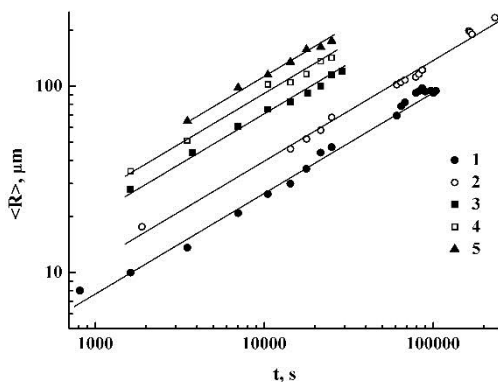


Рис.2. Распределение пузырей по размерам

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований установлен степенной характер зависимости среднего радиуса газовых пузырей в метастабильных образцах модельной пены от времени с показателем, близким к 0.5. Подобное поведение согласуется с данными, полученными другими исследователями, и типично для режима старения «сухой» пены.

#### Литература

1. Попов В.К. Имплантаты в заместительной и регенеративной медицине костных тканей. Биосовместимые материалы (учебное пособие).

2. Богородский С.Э, Василец В.Н, Кротова Л.И, Минаева С.А, Миронов А.В, Немец Е.А и др. Формирование биоактивных высокопористых полимерных матриц для тканевой инженерии. Перспективные материалы. 2013; 5: С. 44–54.

3. Bogorodskij S.Je, Vasilets V.N, Krotova L.I, Minaeva S.A, Mironov A.V, Nemets E.A. et al. Formation of bioactive highly porous polymer matrices for tissue engineering. Inorganic Materials: Applied Research. 2013; 4 (5): pp. 448–456.

Инженерно-физические технологии биомедицины

**АНАЛИЗ НАРУШЕНИЯ ПРОЛИФЕРАТИВНОЙ  
АКТИВНОСТИ ПЛАНАРИЙ *Schmidtea mediterranea* ПРИ  
ОСТРОМ ОБЛУЧЕНИИ ГАММА-КВАНТАМИ**

**Ускалова Д.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск  
89105911563, [uskalovad@mail.ru](mailto:uskalovad@mail.ru)

Плоские черви планарии являются классической моделью для исследования регенерации, поскольку содержат до 30% стволовых клеток – необластов [1]. Активность регенерации поврежденных тканей зависит от пролиферативной активности необластов. Эгих беспозвоночных животных легко культивировать в лабораторных условиях и проводить исследования радиационных эффектов на больших выборках.

Целью работы был анализ изменения пролиферативной активности клеток планарий *Schmidtea mediterranea* после  $\gamma$ -облучения животных в модельном эксперименте.

Планарий декапитировали и облучали на лабораторной установке «Луч-1» (Латвия,  $^{60}\text{Co}$ ) в дозе 10 Гр (мощность дозы 94 сГр/мин). Контроль находился в тех же условиях, но без облучения. Пролиферативную активность оценивали с помощью проточного цитофлюориметра FACS Calibur (BDIS, США) в программе ModFit через 6, 8 и 24 ч после декапитации и облучения в образцах клеток, полученных из пяти планарий. Количественным показателем служила суммарная доля необластов в фазах S и G2/M клеточного цикла. Проведено три независимые серии экспериментов. Всего проанализировано 180 особей в контрольных и 110 – в опытных группах животных. Статистическую обработку проводили по тесту Крускалла-Уоллиса с поправкой Бонферрони на множественное сравнение.

На рис. 1 представлены данные, отражающие изменение доли клеток в фазах S и G2/M клеточного цикла планарий *S. mediterranea* в зависимости от времени после декапитации и облучения.

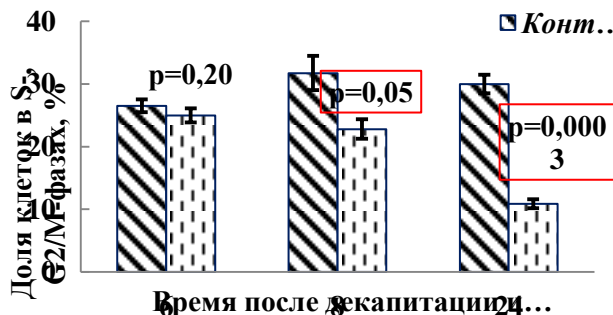


Рис.1. Снижение доли клеток в S-, G2/M-фазах у планарий *S. mediterranea* после острого гамма-облучения

Можно наблюдать, что пролиферативная активность необластов через 6 ч после декапитации и облучения не отличается от наблюдаемой в контроле ( $p = 0,2$ ). Через 8 ч наблюдается снижение доли клеток в S и G2/M-фазах ( $p = 0,05$ ) по сравнению с контролем. Через 24 ч после  $\gamma$ -облучения пролиферативная активность клеток планарий снижается в 2,8 раза ( $p = 0,0003$ ). Двухфакторным дисперсионным анализом рассчитана вероятность вклада  $\gamma$ -облучения в эффект ( $p = 1,54 \times 10^{-8}$ ). Вероятность вклада времени после облучения и взаимодействия этих факторов в эффект снижения пролиферативной активности составляют  $0,0009$  и  $2,93 \cdot 10^{-5}$ , соответственно.

#### Литература

1. Тирас Х.П., Асланиди К.Б. Тест-система для неклинического исследования медицинской и экологической безопасности на основе регенерации планарий. учебно-методическое пособие // Пушкино: ПушГЕНИ, 2013. – 64 с.

Инженерно-физические технологии биомедицины

**МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ ФОТОТЕРАНОСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
И УЛУЧШЕНИЯ ПРИЖИВЛЕНИЯ КОЖНЫХ  
ТРАНСПЛАТАТОВ ПРИ ПЕРЕКРЕСТНОЙ  
ТРАНСПЛАНТАЦИИ МЕЛКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ  
ЖИВОТНЫХ**

**Фаррахова Д.С.<sup>1,2</sup>, Макаров В.И.<sup>2</sup>, Лощенов В.Б.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,  
Москва*

<sup>2</sup> *Институт Общей Физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва  
+7-968-587-52-75, farrakhova.dina@mail.ru*

В трансплантологии динамика приживления кожи может быть оценена методами спектрального анализа [1]. Аппликация коллоидного раствора наночастиц фталоцианина алюминия (nAlPc) позволяет визуализировать степень и области воспалительной реакции, что обеспечивает более точное проведение флуоресцентной диагностики, а также дает возможность выполнения фотодинамической терапии (ФДТ) для уменьшения воспалительной реакции в области приживления кожных трансплантатов. Отсутствие флуоресцентных свойств nAlPc до попадания в воспаленную биологическую среду является главным преимуществом по сравнению с другими фотосенсибилизаторами (ФС) [2].

Для исследований была проведена перекрестная трансплантация кожи на спине мыши. Под правый кожный трансплантат были добавлены nAlPc, левый кожный трансплантат был оставлен для контроля до полного приживления кожной ткани.

Спектроскопическая система, состоящая из источников лазерного излучения в синем и красном видимых диапазонах (405 нм и 633 нм), обеспечивающие оценку состояния ткани на разной глубине, позволяет определить этапы приживления кожных трансплантатов методом обратного диффузного отражения света от биологической ткани, так как интенсивность флуоресценции nAlPc коррелирует с интенсивностью воспаления в приживляемой области.

Изменение внутритканевого распределения иммунных клеток (в основном макрофагов) оценивалось при помощи стрик-камеры с

пикосекундным временным разрешением (15 пс) путем измерения времени жизни флуоресценции pAlPc. Доза облучения ФДТ составила 195 Дж/см<sup>2</sup> с плотностью мощности 500 мВт/см<sup>2</sup> и с источником лазерного излучения на длине волны возбуждения 668±10 нм. При помощи спектроскопической системы было зарегистрировано уменьшение интенсивности флуоресценции pAlPc после терапии в 1,5 раза и уменьшение времени жизни флуоресценции pAlPc с 5,2 нс до 4,4 нс, что свидетельствует об уменьшении концентрации фотосенсибилизатора под кожными трансплантатами и эффективной генерации синглетного кислорода для разрушения патологических процессов и изменения распределения иммунных клеток в коже.

Показано, что ФДТ уменьшает вероятность отторжения приживляемой ткани при трансплантации и способствует успешному приживлению пересаживаемой ткани.

#### Литература

1. Макаров В.И., Ахлюстина Е.В., Фаррахова Д.С., Поминова Д.В., Рябова А.В., Лощенов В.Б. Методы фототеки для оценки качества приживления кожных трансплантатов. *Biomedical Photonics*. 2016;5(3):30-40.

2. Vasilchenko S.Y., Volkova A.I., Ryabova A.V., Loschenov V.B., Konov V.I., Mamedov A.A., Kuzmin S.G., Lukyanets E.A. Application of aluminum phthalocyanine nanoparticles for fluorescence diagnostics in dentistry and skin autotransplantation. // *Journal of Biophotonics*. Vol. 3 (5-6). 2010, p. 336-346.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПЛАНОВ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ**

***Федотов Ю.А.<sup>1</sup>, Шейно И.Н.<sup>1</sup>, Сухих Е.С.<sup>2</sup>, Бобров Д.Ю.<sup>1</sup>,  
Артеменкова А.Е.<sup>3</sup>, Галяутдинова Ж.Ж.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>*Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный  
медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г.  
Москва*

<sup>2</sup>*Томский областной онкологический диспансер, г. Томск*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г.  
Москва*

*8(965)214-56-98, ufedotov456@gmail.com*

В мировой практике радиотерапии для контроля качества и оптимизации всё чаще используются критерии: вероятность контроля опухоли (Tumor Control Probability - TCP) и вероятность осложнения нормальных тканей (Normal Tissue Complication Probability - NTCP), позволяющие количественно оценить исход лучевой терапии и выбрать оптимальную схему проведения лучевой терапии пациента [1,2].

В настоящее время оценка качества дозиметрических планов определяется физическими критериями, определяемыми рассчитанными значениями дозовых распределений по опухоли и органам риска пациента, представляемых в виде гистограмм «Доза-Объём» (DVH), и не определяет однозначный выбор наилучшего плана.

Целью работы: исследование возможностей радиобиологических методов оценки дозиметрических планов облучения пациентов на медицинских ускорителях Varian Trilogy и Elekta, генерируемых системами планирования ECLIPSE (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA) и MONACO (CMS/Elekta, St. Louis, MO) соответственно.

Для этой цели организован автоматизированный импорт данных из указанных систем планирования, преобразование расчетных кумулятивных дозообъемных гистограмм - cDVH для PTV и органов риска в дифференциальные распределения - dDVH, необходимых для расчета TCP/NTCP и их вычисление.

Для сравнительного анализа рассмотрены модели TCP: Niemierko, Warkentin-Stavrev, Webb-Nahum; модели NTCP: Niemierko, Lyman-Kutcher-Burman (LKB), Kehwar-Sharma, Kallman, Walsh. Некоторые из указанных моделей расчета TCP включают:

- тип, стадии и объем опухоли, плотность клоногенов;
- параметры радиочувствительности опухоли по LQ модели ( $\alpha, \beta$ );
- параметры, определяющие скорость пролиферации и оксигенации клеток.

Представлены результаты расчетов биологических критериев для реальных дозиметрических планов лучевой терапии рака простаты и молочной железы. Приведена структура базы данных параметров моделей, проведена оценка вариабельности полученных результатов из-за неопределенности исходных данных. Получена оценка достоверности полученных результатов.

Разработка и использование указанных методов медицинской практике позволит повысить качество лечения злокачественных новообразований традиционными методами лучевой терапии. Может служить в качестве вспомогательного инструмента при выборе схемы дозиметрического планирования лучевой терапии злокачественных новообразований.

#### Литература

1. Allen Li X, Alber M, Deasy JO, Jackson A, Ken Jee KW, Marks LB, Martel MK, Mayo C, Moiseenko V, Nahum AE, Niemierko A, Semenenko VA, Yorke ED. The use and QA of biologically related models for treatment planning: short report of the TG-166 of the therapy physics committee of the AAPM. //Med Phys. 2012 March; 39(3):1386-409.

2. J. Donald Chapman, Alan E. Nahum. Radiotherapy Treatment Planning: Linear-Quadratic Radiobiology. CRC Press, Taylor & Francis Group 2016 г. – 190 p.

Инженерно-физические технологии биомедицины  
**АНАЛИЗ  $\text{Ca}^{2+}$  - СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ В ПЛАСТИЧНОСТИ  
СИНАПСОВ КЛЕТОК ПУРКИНЬЕ**

**Фрицлер Я.В., Шуваев А.Н.**

*Сибирский федеральный университет, Красноярск  
89339955045, fri.yana@mail.ru*

Процесс запоминания информации связан с изменением проводимости электрического сигнала с одного нейрона на другой, называемый синаптической пластичностью (СП) нейронов. Нарушения функционирования клетки в процессе СП приводят к развитиям различных заболеваний. В данной работе рассматривается долговременная СП - депрессия синаптического возбуждения (DSE). При DSE в нейронах происходит смена метаболизма с выделением эндоканнабиноидов и вторичного мессенджера – кальция.

Целью работы является анализ  $\text{Ca}^{2+}$  сигнальных путей и определение веса каждого из этих путей в общем  $\text{Ca}^{2+}$ -сигнале через его влияние на DSE для математической модели синаптической пластичности клеток Пуркинью.

По анализу литературных данных в математическую модель DSE включены следующие  $\text{Ca}^{2+}$  сигнальные пути: потенциал-зависимые  $\text{Ca}^{2+}$  каналы (VGCC);  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  обменник (NCX); каналы депо кальция в клетке - SOC-канал с порообразующей субъединицей ORAI и STIM, инозитол 1,4,5 трис-фосфатный рецептор ( $\text{InsP}_3\text{R}$ ), рианодиновый рецептор (RyR); эндоплазматический ретикулумый (ЭПР)  $\text{Ca}^{2+}$  АТФазный канал (SERCA); плазматическая АТФ-зависимая помпа PMCA; глутаматный рецептор типа mGlu1; каналы митохондрии: митохондриальный  $\text{Ca}^{2+}$  унипорт (MCU) и митохондриальный  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  - обменник (NCLX). Изменённая пластичность отождествлялась с изменением тока нейромедиаторов 2-амино-3-гидрокси-5-метил-4-изоксазолпропионовой кислоты (AMPA) и N-метил-d-аспартата (NMDA).

Проведенный анализ вкладов кальция сигнальных путей в синаптическую пластичность DSE показал, что наибольшим вкладом в интегральный  $\text{Ca}^{2+}$ -сигнал имеют потоки через



VGCC [1], InsP3 и RyR. При этом, ток  $\text{Ca}^{2+}$  из ЭПР имел большую мощность через RyR-каналы [2], но включение этих каналов происходило с запаздыванием, чем через InsP3 [3] каналы (рисунок 1).

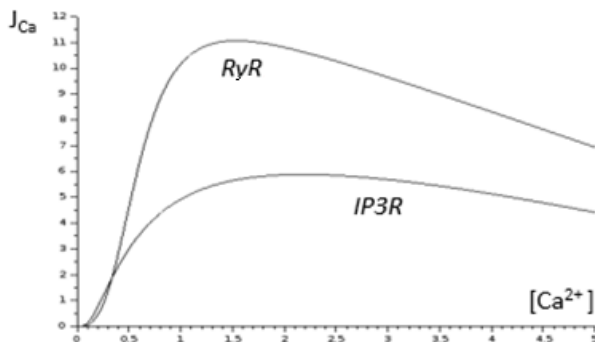


Рис. 1. Потоки ионов кальция через InsP3 и RyR в зависимости от концентрации кальция

Наименьшим влиянием на DSE обладают потоки из митохондрий и SOC. Поток  $\text{Ca}^{2+}$  из ЭПР через COS имеет характеристическое время открытия канала на несколько порядков большее, чем InsP3 и RyR, что приводило к высвобождению  $\text{Ca}^{2+}$  из депо раньше, чем происходила активация SOC. Вклад митохондриального тока был незначительным из-за малой ёмкости  $\text{Ca}^{2+}$  депо.

Проведен анализ вкладов кальций сигнальных путей, а также механизмы их функционирования для математической модели синаптической пластичности DSE. Определены веса каждого кальций сигнального пути в общем  $\text{Ca}^{2+}$ -сигнале клеток Пуркинье.

#### Литература

1. D. Gruol, M. Manto, D. Haines.  $\text{Ca}^{2+}$  Signaling in Cerebellar Purkinje Neurons. *Cerebellum*. Vol. 11. Issue 3. P. 605–608 (2012).
2. A. Politi, L.D. Gaspers, A.P. Thomas, T. Hofer. Models of IP3 and  $\text{Ca}^{2+}$  Oscillations: Frequency Encoding and Identification of Underlying Feedbacks. *Biophysical Journal*. P. 3120–3133 (2006).
3. D.D. Friel.  $[\text{Ca}^{2+}]_i$  oscillations in sympathetic neurons: an experimental test of a theoretical model. *Biophysical Journal*. Vol. 68. Issue 5. P. 1752-1766 (1995).

Инженерно-физические технологии биомедицины  
**РАЗВИТИЕ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ  
В РОССИИ И МИРЕ**

***Цишнатти А.А.<sup>1</sup>, Владимиров И.Е.<sup>1</sup>,  
Степанова Е.А.<sup>1</sup>, Федотов Ю.А.<sup>2</sup>, Шейно И.Н.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
г.Москва, кафедра «Медицинская физика» [tsishnatti96@mail.ru](mailto:tsishnatti96@mail.ru)  
<sup>2</sup>ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва,  
[ufedotov@mail.ru](mailto:ufedotov@mail.ru)

Протонная лучевая терапия – метод, позволяющий осуществлять подведение более высокой поглощённой дозы ионизирующего излучения за счет значительного повышения энерговыведения протонов в конце их пробега в веществе (пик Брэгга).

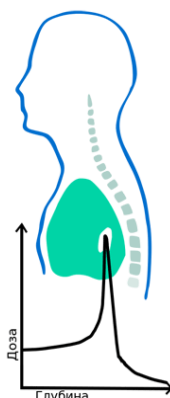


Рис.1. Глубинное дозовое распределение

За счет изменения величины энергии пучка протонов имеется возможность лечения на различных глубинах залегания опухолей. Точность подведения дозы методом сканирующего пучка может достигать величин порядка 1 мм.

На данный момент в мире имеется около 50 центров протонной терапии, расположенных в основном в США, Японии и странах Европы, большая часть из которых являются научно-исследовательскими и менее половины из которых удовлетворяют современным требованиям к качеству лучевого лечения.

В России до 2015 года протонная лучевая терапия проводилась только в научно-исследовательских целях в ИТЭФ (г. Москва), ОИЯИ (г. Дубна), РНЦРХТ в сотрудничестве с ПИЯФ (г. Гатчина), ИЯИ (г. Троицк) и ещё нескольких центрах.

В ноябре 2015 года первых пациентов принял первый клинический центр протонной терапии в г. Протвино, ещё ровно через год для лечения пациентов открылся аналогичный центр в г. Обнинск, с декабря 2017 года планируется начать лечение пациентов в г. Санкт-Петербург, в 2018 году планируется открытие протонного клинического центра в г. Димитровград. Планируется постройка клинического протонного центра в СибНКЦ ФМБА России (г. Красноярск), ГКБ им. С.П. Боткина (г. Москва).

По оценкам специалистов потребность в этом виде лучевого лечения для России составляет около 40000 пациентов в год. Существующие на данный момент центры совокупно обслуживают менее 5% пациентов от требуемого количества.

#### Литература

1) *В.А. Климанов* радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии

Часть 2: Лучевая терапия пучками протонов, ионов, нейтронов и пучками с модулированной интенсивностью, стереотаксис, брахиотерапия, радионуклидная терапия, оптимизация, гарантия качества.

2) <http://mtk.jinr.ru/> Дубна. Медико-технический комплекс

3) <https://protonnayaterapiya.ru/centry-protonnoj-terapii-v-rossii/>

4) Сайт ЗАО Протом. <http://www.protom.ru/>

5) <https://www.varian.com/news/varian-and-russian-proton-therapy-center-achieve-milestone-cyclotron-installation>

## **НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГРЫЖЕВЫХ СЕТОК**

**Шариков Р.В.<sup>1,2</sup>, Тенчурин Т.Х.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

*+7-906-084-25-69, romanpb4@gmail.com*

В данной работе произведены исследования нетканых волокнистых материалов на основе полимера ПКЛ (поликапролактона), полученных методом электроформования, а также различных способов их заселения клеточными культурами.

В настоящее время в области имплантологии для эндопротезирования большую популярность имеют сетчатые имплантаты, альтернативу которым в скором времени могут составить нетканые материалы. Процесс электроформования позволяет получить материал с заданными структурными и биомеханическими свойствами, таким образом предоставляя возможность создать материал подобный нативным тканям [2].

Используемый в данной работе полимер ПКЛ биосовместимый, биоразлагаемый, а также разрешен к использованию в биомедицинских целях. Данный полиэфир имеет срок резорбции в живом организме в диапазоне от нескольких месяцев, до нескольких лет [3 – 5]. Материалы на основе данного полимера широко используются в качестве носителей клеточных культур.

Был изучен процесс электроформования из растворов на основе полимера ПКЛ. Полученные образцы имели различные структурные и механические параметры: толщину от 160 до 770 мкм, средний диаметр волокон от 3 до 20 мкм, максимальный размер пор от 24 до 80 мкм и прочность от 6 до 11 МПа. Проведены исследования возможности заселения клетками изготовленных каркасов статичным, динамическим и капиллярным способом. Определены оптимальные структурные характеристики каркасов для каждого из методов клеточного заселения.

Проведенные исследования показали возможность использования полученных материалов для пластики дефектов брюшной полости.

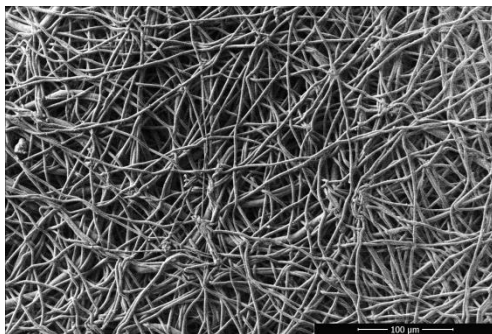


Рис. 1. Микрофотография образца №1 со средним диаметром волокон 3 мкм на основе ПКЛ, полученного методом электроформования.

#### Литература

1. *Basile F., Biondi A., Donati M.* Surgical approach to abdominal wall defects: history and new trends. *Int. J. Surg.* 2013; 11 Suppl 1: S20-3.
2. *Rim N.G., Shin C.S., Shin H.* Current approaches to electrospun nanofibers for tissue engineering. *Biomed. Mater.* 2013; 8(1): 014102.
3. *Brugmans M.M., Soekhradj-Soechit R.S., van Geemen D. et al.* Superior tissue evolution in slow-degrading scaffolds for valvular tissue engineering. *Tissue Eng. Part A* 2016; 22(1-2): 123-32.
4. *Ebersole G.C., Buettmann E.G., MacEwan M.R. et al.* Development of novel electrospun absorbable polycaprolactone (PCL) scaffolds for hernia repair applications. *Surg. Endosc.* 2012; 26(10): 2717-28.
5. *Woodruff M.A., Hutmacher D.W.* The return of a forgotten polymer—polycaprolactone in the 21st century. *Prog. Polym. Sci.* 2010; 35: 1217-56.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТОВОГО ПОТОКА ОТ ЗНАЧЕНИЙ СИЛЫ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

***Шачнева Е.А.<sup>1</sup>, Мурашкина Т.И.<sup>1</sup>, Бадеева Е.А.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза  
+79656375890, e-mail: e\_shachneva@mail.ru

В настоящее время существует множество способов и установок для воспроизведения и измерения расхода жидкости [1, 2]. Но основной их недостаток в сложности технической реализации и неоправданно высокой сложности проведения экспериментов и измерений, влияние на результат измерения электромагнитных помех.

В работе [3] авторы предложили новый способ и волоконно-оптический датчик (ВОД) для измерения параметров жидкостного потока. Статья [2] посвящена определению конструктивно-технологических параметров датчика и, в первую очередь, воспринимающего элемента (ВЭ) в виде пластины с отражающей поверхностью (отражатель), осуществляющего преобразование параметров потока в изменение параметров оптического сигнала [2]. В настоящий момент стоит задача разработать программу, выполняющую вычисления силы по формуле (1) для расчета скорости потока жидкости  $F_{пот}$  в зависимости от изменяемых параметров.

$$F_{пот} = k_c 2\alpha R_c R_c = \frac{2k_c \alpha R_c^2}{l} \quad (1)$$

где  $R_c$  – внутренний радиус сильфона;  $k_c$  – жесткость сильфона;  $\alpha$ ,  $l$  – величина смещения пластины или поворота.

На языке программирования С# для имитации изменений параметров силы потоков жидкости было разработано программное обеспечение.

Из источника [3] известна зависимости тока фотодиодов от углов отклонения пластины первого и второго каналов  $I1=f1(\alpha)$  и  $I2=f2(\alpha)$ , полученные в процессе реальной юстировки и оптической регулировки оптической системы разрабатываемого устройства для

измерения параметров жидкостного потока. Полагаясь на данные результаты, изменение значений угла  $\alpha$  происходило в диапазоне от -3 до 3 градусов, также были выбраны сильфоны с радиусом от 3 до 20 мм, и, соответственно, жесткости сильфонов, указанные в ГОСТ 201482 -76 Сильфоны однослойные измерительные металлические.

График расчетной зависимости значений интенсивности светового потока от силы потока приведен на рисунке 1.



Рис. 1. Графическое отображение результатов расчетов в виде зависимости интенсивности светового потока от силы потока жидкости

В соответствии с проведенными расчетами определено, что разработанный ВОД будет наиболее эффективен при силе потока жидкости от 2 до 3,5 Н.

## Литература

1. Fluid Flow Measurement in Astronauts Life Support Systems / Т.И. Murashkina, Е.А. Badeeva, Е.А. Shachneva, etc.//Biomedical Engineering. – Vol. 49.- No 5.- January 2016. –pp.295-299.
2. Е.А. Shachneva and Т.И. Murashkina//Journal of Physics: Conference Series 735(2016)012036. - International Conference of Young Scientists and Specialists "Optics-2015" 12–16 October 2015, St. Petersburg, Russia.
3. Патент РФ 2419765. МПК G01 В 21/00. Волоконно-оптический преобразователь углового перемещения / Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г., Серебряков Д.И., Юрова О.В. Бюл. № 15.опубл. 27.05.2011.

## **ПОИСК РЕЛЕВАНТНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИСТОЧНИКОВ ПРИ ПОМОЩИ СКРЫТОГО СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА**

**Шишкина А.А.**

*НИУ МИЭТ, Зеленоград  
89296039133, a.1996.shi@gmail.com*

В настоящее время в результате стремительного роста информационного массива медицинских документов возникла потребность в создании поисковых систем, которые позволят специалистам находить релевантные и наиболее содержательные источники информации.[1]

В данной работе предлагается новый подход к индексированию биомедицинских документов на основе векторного моделирования. Что позволяет выполнять частичное сопоставление между запросами и биомедицинскими документами.[2]

Данная работа представляет собой создание системы поиска релевантного документа при помощи векторного моделирования текста в программной среде R. Обработка медицинских текстов осуществляется при помощи скрытого семантического анализа. В качестве информационного запроса используется заключение автоматического кардиологического отчёта, в качестве ресурсов используются документы с различной степенью релевантности запросу.

Тексты, представленные в виде векторной модели, формируют матрицу, значения ячеек которой служат показателями присутствия или отсутствия каждого термина в соответствующем документе. Проблема влияния часто встречающихся терминов, решается путем подсчета коэффициента частотности (tf-idf). Сходство признаков между векторами определяется косинусной мерой. Таким образом, документы, имеющие высокие оценки подобия, рассматриваются как наиболее релевантные запросу.[3]

Для верификации построенной модели взят образец автоматического заключения системы оценки микроальтернаций сердечного ритма, который был подвергнут автоматическому анализу и использовался в качестве запроса. В качестве документов использовались медицинские тексты различной тематики.



Результат работы системы показал, что наибольшее значение косинусной меры достигается для текстов, соответствующих тематике запроса (кардиология) и отделяет тексты из других медицинских областей.

#### Литература

1. Roberts, Kirk, et al. "State-of-the-art in biomedical literature retrieval for clinical cases: a survey of the TREC 2014 CDS track." *Information Retrieval Journal* 19.1-2 (2016): 113-148..
2. Singhal, Amit. "Modern information retrieval: A brief overview." *IEEE Data Eng. Bull.* 24.4 (2001): 35-43.
3. Boughanem, Mohand, Asma Brini, and Didier Dubois. "Possibilistic networks for information retrieval." *International Journal of Approximate Reasoning* 50.7 (2009): 957-968.

## ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ОСЛАБЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В АППАРАТАХ СЛУХОПРОТЕЗИРОВАНИЯ

Шишкина А.Ф.

*Уфимский государственный авиационный технический университет,  
г. Уфа  
spnio@mail.ru, +7-917-808-24-00*

В аппаратах слухопротезирования, частным случаем которых являются слуховые аппараты, важную роль играют устройства ослабления акустической обратной связи (АОС).

В ходе экспериментов по оценке устойчивости локальных электроакустических систем на лабораторном стенде, описанном в [1], было выяснено, что наибольший обобщенный выигрыш в усилении достигается при использовании устройства ослабления акустической обратной связи с транспонированием спектра речевого сигнала [2, 3]. В связи с этим было принято решение построить макет слухового аппарата, работающего совместно с транспозитором спектра сигнала.

Усилитель слухового аппарата, траспозитор спектра, компрессор, экспандер и фильтры были выполнены на дискретных элементах на отдельных платах. Общая схема установки для исследования аппарата совместно с транспозитором спектра имеет вид (рис.1).

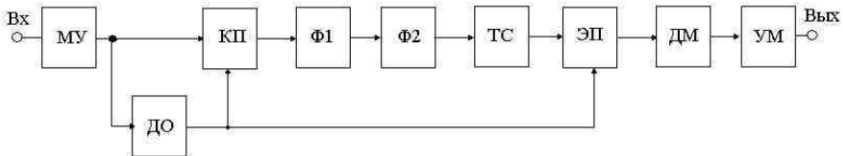


Рис.1. Общая схема установки для исследования слухового аппарата совместно с транспозитором спектра

Транспозитор спектра расположен между микрофонным усилителем (МУ) и входом дельта-модулятора (ДМ). После предварительного усиления МУ звуковой сигнал поступает на компрессор (КП), коэффициент передачи которого управляется

сигналом с выхода детектора огибающей звукового сигнала ДО. Сигнал с выхода ДО управляет также коэффициентом передачи экспандера ЭП (расширитель динамического диапазона сигнала). Фильтры Ф1 и Ф2 имеют частоты среза 0,7 и 1,4 кГц соответственно, и вследствие чего на вход транспозитора (ТС) поступает диапазон частот 0,7-1,4 кГц. В транспозиторе происходит перенос спектра звукового сигнала в область второй и третьей гармоник путем удвоения частоты, и на его выходе имеет место диапазон частот 1,4-2,8 кГц.

Поскольку данный диапазон частот в составе усиливаемого звукового сигнала отсутствует, значительно снижается вероятность самовозбуждения электроакустической системы.

Нами были разработаны схема и макет усилителя. Эксперименты показали, что для выбора оптимального схемного решения требуются дополнительные исследования принципов и методов построения схем слуховых аппаратов, в частности, комбинированные каскады усиления мощности, каскады на комплементарных биполярных транзисторах и т.д.

#### Литература

1. Галиев А.Л., Шишкина А.Ф. Лабораторный стенд для проведения экспериментов по оценке устойчивости локальных электроакустических систем // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2012): сб. ст. II международной заочной научно-технической конференции. Ч. 1. / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти: Изд-во ПВГУС, 2012. – 440 с. – С. 363-368.

2. Галиев А.Л., Галиева Р.Г., Шишкина А.Ф. Об одном способе ослабления паразитной акустической обратной связи // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 2. – С. 32-35.

3. Шишкина А.Ф. К вопросу о влиянии на устойчивость электроакустической системы акустического давления // Теория. Практика. Инновации. – 2016. – № 2. – С. 98-101.

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИКИ СПОНДИЛОЛИСТЕЗА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММ- СЛАЙСЕРОВ**

*Щеглов Б.О., Багрянцев В.Н., Атарщиков С.А., Андреев Н. В.*

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г.*

*Владивосток*

*8-914-718-98-25, b.shcheglov@mail.ru*

Актуальность исследования. Ранняя и точная диагностика при детектировании вида, стадий заболеваний спины различного генеза является немаловажным условием для проведения эффективного лечения, восстанавливающего функции опорно-двигательного аппарата и снижающего уровень инвалидизации пациента. В решении данной задачи немаловажную роль могут оказать аддитивные технологии, преобразующие данные лучевого обследования (МРТ, КТ, УЗИ и др.) в трехмерную модель (3D) пораженного органа [1].

Целью исследования является оценка качества диагностики и определения вида и стадии перелома суставных отростков позвонков (спондилолистеза) с помощью программ-слайсеров на основе КТ (компьютерная томография) обследования.

Методы исследования. Для оценки качества использовались снимки, предоставленные Медицинским центром Дальневосточного федерального университета (ДФУ). 3D модели позвоночника (часть шейного, грудной, поясничной, крестцово-копчиковый отделы) и части таза пациентов были созданы с помощью программ-слайсеров на основе стандартных медицинских данных DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), полученных при КТ обследовании больных.

Результаты. Рассмотрен алгоритм преобразования и сегментации совокупности 2D данных в 3D модель с помощью Лапласовых дифференциальных и интегральных преобразований, а также статистических выборок на основе различий в градиенте концентраций пикселей [2]. Были созданы модели костей позвоночника и таза (рис. 1).

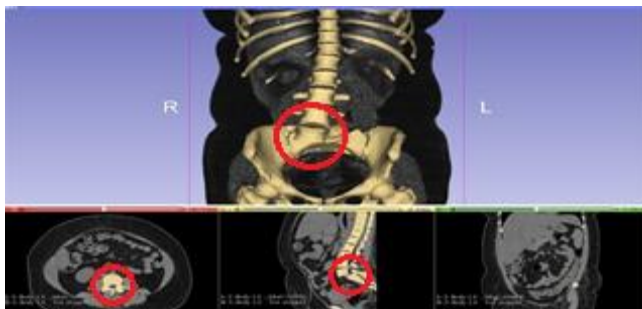


Рис.1. Травматический антерolistез (вышележащий пятый поясничный позвонок L5 смещается кпереди относительно первого крестцового позвонка S1) 3 степени по классификации Мейердинга (позвонок смещен не более чем на 75 %).

**Выводы.** Создание нормальных и патологических анатомических 3D объектов на основе данных лучевой диагностики улучшают и дополняют существующие методы диагностики пациентов со спондилолистезом.

Результаты исследования доказывают возможность и эффективность использования программ-слайсеров в больницах (отделения лучевой диагностики, травматологии и др.) и как метода обучения студентов медицинских специальностей «Медицинская биофизика» и «Лечебное дело».

#### Литература

1. P. Aljabar, R.A. Heckemann, A. Hammers et al. Multi-atlas based segmentation of brain images: atlas selection and it's effect on accuracy // NeuroImage, vol. 46, no. 3, pp. 726–738, 2009.

2. Щеглов Б.О., Багрянцев В. Н., Атаршиков С. А. и др. Комплекс 3D визуализации с использованием программ-слайсеров для хирургического отделения госпиталя ВМФ / Материалы 60-ой Всероссийской научной конференции. Том III. Фундаментальные и прикладные вопросы естествознания. – Владивосток: ТОВВМУ имени С.О.Макарова, 2017. – С. 5-7.

Инженерно-физические технологии биомедицины

## ИЗМЕРЕНИЕ СИГНАЛОВ НЕЙРОМЕДИАТОРОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ЗОНЕ НЕЙРОАКТИВАЦИИ

Яковлев А.Н.<sup>1</sup>, Манжурцев А.В.<sup>2,3</sup>, Ахатов Т.А.<sup>3</sup>, Семенова Н.А.<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup>МГУ, Москва

<sup>2</sup>ИБХФ РАН, Москва

<sup>3</sup>НИИ НДХиТ, Москва

<sup>4</sup>ИХФ РАН, Москва

### Введение

Функциональная  $^1\text{H}$  магнитно резонансная спектроскопия – уникальный *in vivo* способ исследования метаболических процессов в результате нейростимуляции в зоне активации головного мозга. Цель работы: определение баланса тормозного (GABA) и возбуждающего (Glx) нейромедиаторов при постоянной нейрональной активации.

### Материалы и методы

В исследовании на МР томографе Philips Achieva dStream 3.0T с использованием РЧ катушки SENSE Head-16 приняло участие 9 здоровых испытуемых. Спектроскопический воксель размером 25x45x35 мм размещался в зрительную кору головного мозга. Для локализации использовалась последовательность MEGA-PRESS с параметрами: TE=68мс (для GABA+), 80 мс (для GABA-), TR=2000 мс, NSA = 144. Исследование проводилось дважды: получали спектр в состоянии покоя и при предъявлении зрительного стимула (мерцающей с частотой 8 Гц шахматной доски). В обоих случаях вычислено отношение интенсивностей резонансных линий GABA- и Glx. Достоверность различия определена критерием Манна-Уитни.

### Результаты

Наблюдается статистически достоверное ( $p < 0.05$ ) уменьшение интенсивности GABA- и отношения GABA-/Glx в среднем на 20% при постоянном зрительном возбуждении. Видеостимуляция не снижает уровень GABA+.

### Вывод

В зоне нейроактивации наблюдается смещение баланса тормозного и возбуждающего нейромедиаторов в сторону преобладания тормозного из-за уменьшения концентрации ГАВА-

**Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика  
и астрофизика**



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**NEUTRONIC STUDY OF USING NANO FLUIDS AS A  
PRIMARY COOLANT TO VVER-440 REACTOR BY USING  
SERPENT CODE**

**Abdullah. H.<sup>1</sup>, Smirnov A.D.<sup>1</sup>, Tikhomirov G. V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Nuclear Physics and Engineering,  
National Research Nuclear University MEPhI, Kashirskoe shosse, 31, Moscow,  
Russian Federation, 115409  
[hadeershehata031@gmail.com](mailto:hadeershehata031@gmail.com)*

### **Abstract**

Many experiments and researches have showed the ability of the nanofluids as an engineered fluids in the enhancement of heat transfer, particularly boiling heat transfer[1]. In this paper, we investigate the neutronic attribution of using nanofluid as a primary coolant in vver-440 reactor .The analysis of nanofluid 2D infinite lattice fuel assembly is performed by using Serpent 2 code in order to determine the infinite multiplication factor (Kinf).

### **Methods and Material**

The VVER-440 fuel assembly has a hexagonal shape and contains 126 fuel rods . All the rods in an assembly are of the same enrichment. The distance of the centerlines of the assemblies is 14.4 cm. Altogether 349 assemblies can be inserted into the reactor core and 312 out of these are fuel assemblies [2].

The considerable nanofluids are a mixture composed of water, particles of the different six nanoparticles types Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si, Zr, TiO<sub>2</sub>, CuO, and Ti have been simulated using Serpent 2 , and the neutronic parameter infinite multiplication factor(Kinf) was calculated.

### **Results**

As shown in Fig.2 The results of infinite multiplication factor study show that by increasing the amount of nanoparticles, the kinf will drop; however, there is a different response for different types of nanoparticles. The decreasing in Kinf is much more for silver nanoparticles and less for Alumina nanoparticles. These phenomena could be explained by the density and absorption cross-section of relevant nanoparticles [3].

Among all types of nanofluids, the Titanium has the highest and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , has the lowest . By increasing the amount of nanoparticles, the rate of moderation will be reduced.

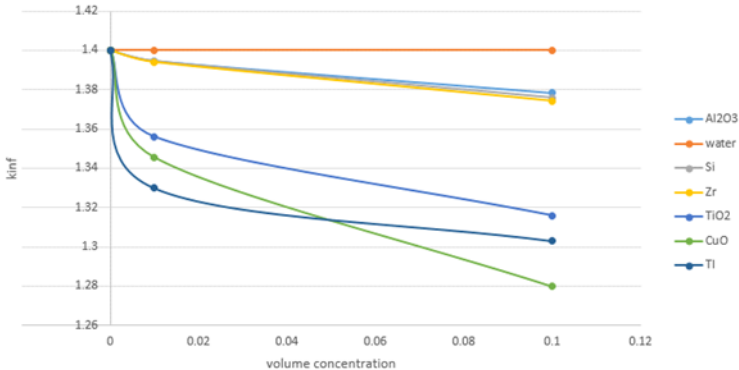


Fig. 2. Infinite multiplication factor with different volume fractions

## Conclusion

The main purpose of this research was investigating the neutronic simulation of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Si, Zr,  $\text{TiO}_2$ , CuO, and Ti water-based nanofluid application in VVER-440 fuel assembly. The results showed that by increasing the volume percentage of nanoparticles, the  $k_{inf}$  would be severely reduced.

Unlike the others, it can be concluded that the  $k_{inf}$  has a gentler slope with  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Zr and Si by using those three nanoparticles below 1% vol the criticality would be better .

Despite the neutronic characteristic of silicon because of its low thermal conductivity, alumina is preferred in nuclear power application.

## References

- [1] Kim, S., Bang, I., Buongiorno, J., Hu, L., 2007. Study of pool boiling and critical heat flux enhancement in nanofluids. Tech. Sci. 55 Groups A&B, Plzeň, May 10-11, 2011, Czech Republic.
- [2] ČEZ, a.s. – TVEL, The set of fuel assemblies for VVER-440, Contract technical agreement, 2007.
- [3] Lee, J.-H., Hwang, K.S., Jang, S.P., Lee, B.H., Kim, J.H., Choi, S.U., Choi, C.J., 2008. Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanoparticles. Int. J. Heat Mass Transf. 51, 2651–2656

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**MODELLING OF THE MOLTEN SALT FAST REACTOR  
USING CODE SERPENT**

**Ashraf. O.<sup>1,2</sup>, Smirnov A.D.<sup>1</sup>, Tikhomirov G. V.**

<sup>1</sup> Institute of Nuclear Physics and Engineering,  
National Research Nuclear University MEPhI, Kashirskoe shosse, 31, Moscow,  
Russian Federation, 115409

<sup>2</sup> Physics Department, Faculty of Education, Ain Shams University,  
Cairo, Egypt, 11341  
[osama.ashraf@edu.asu.edu.eg](mailto:osama.ashraf@edu.asu.edu.eg)

In Molten Salt Reactors (MSRs), a liquid fuel salt circulates through the core and transport the heat to the external heat exchangers, therefore liquid salt allows to carry the fuel and transfer heat. In this paper the European reference concept of the Molten Salt Fast Reactor (MSFR) is investigated. The MSFR expected to operate in a closed Th-based fuel cycle with a full recycle of all actinides in the core. A simplified model of a MSFR primary circuit has been elaborated. Calculations using Monte Carlo code Serpent 2 have been performed in order to determine the infinite multiplication factor ( $K_{inf}$ ). The infinite multiplication factor ( $K_{inf}$ ) is found to be  $1.05508 \pm 0.00118$  which is in good agreement with published results.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**MODELLING TRANSMUTATION OF LEAD NUCLEI IN  
ULTRAPERIPHERAL COLLISIONS AT THE LHC**

**Dmitrieva U.A.<sup>1,2</sup>, Pshenichnov I.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow*

<sup>2</sup> *Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, Moscow*  
+7(916)372-09-77, [ulyana.dmitrieva@phystech.edu](mailto:ulyana.dmitrieva@phystech.edu)

Coulomb fields of lead nuclei accelerated at the LHC are tremendously Lorentz-contracted and because of their strength induce nuclear reactions in collision partners. The total cross-section of electromagnetic dissociation/fragmentation (EMD) of  $^{208}\text{Pb}$  in ultraperipheral collisions (UPC) without overlap of nuclear densities amounts to 215 barns at the LHC [1], which is much larger than the total hadronic reaction cross-section of 7.88 barns. EMD of  $^{208}\text{Pb}$  beam nuclei contribute significantly to the decay of beam intensity and produce various secondary nuclei in all four interaction points (ALICE, ATLAS, CMS and LHCb) [2]. Certain secondary nuclei with their charge-to-mass ratio close to  $^{208}\text{Pb}$  may impact superconducting magnets of the collider as their path in the magnetic field of the LHC is close to one of  $^{208}\text{Pb}$ , and they are not efficiently intercepted by the collider collimator system in contrast to other fragments [2].

In the present work the production of secondary nuclei in EMD of  $^{208}\text{Pb}$  at the LHC is simulated with the Relativistic ELectromagnetic DISSociation (RELDIS) model [1]. Following the Weizsacker-Williams method of equivalent photons the EMD processes induced by absorption of one and two photons are taken into account. Depending on the photon energy the model simulates the excitation and decay of the giant resonances in nuclei, the quasideuteron absorption on a pair of intranuclear nucleons or the photoexcitation of baryonic resonances with meson production and subsequent intranuclear cascades [1].

The emission of forward neutrons in UPC at the LHC has been studied in several papers, see, e.g., [1, 3]. However, neither theoretical

nor experiments results are available for the emission of forward protons accompanied by neutrons. The cross sections of emission of given numbers of neutrons  $N_n$  and protons  $N_p$  calculated with RELDIS in the present work for EMD of  $^{208}\text{Pb}$  at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV are presented in Fig.1. As soft photons are mostly absorbed in UPC, a single heavy residue is typically produced following the nucleon emission. The cross sections presented in Fig.1 can be measured in ALICE experiment at the LHC and thus provide estimations of production rates of respective residual nuclei. The total cross sections to produce thallium, mercury and gold in UPC are calculated as 30 b, 13 b and 6.2 b, respectively.

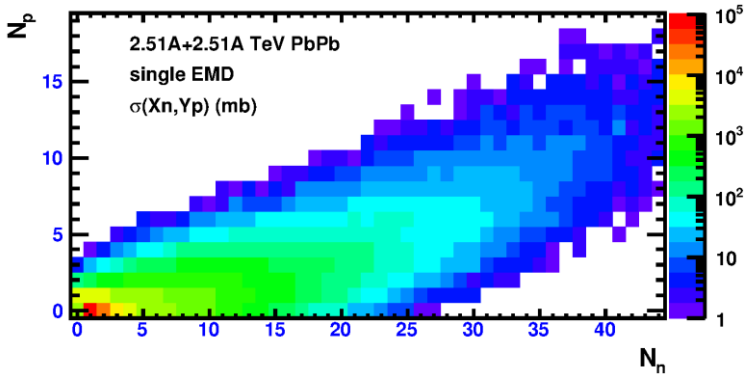


Fig.1. Cross sections calculated by RELDIS model for emission of given numbers of neutrons and protons in EMD of  $^{208}\text{Pb}$  at the LHC at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV.

### References

1. Pshenichnov I.A. Electromagnetic excitation and fragmentation of ultrarelativistic nuclei. Phys. Part. Nuclei. V. 42. Pp. 215–250 (2011)
2. Bruce R. et al. Beam losses from ultraperipheral nuclear collisions between  $^{208}\text{Pb}^{82+}$  ions in the Large Hadron Collider and their alleviation. Phys. Rev. ST Accel. Beams. V. 12, Pp. 1–17 (2011)
3. Abelev B. et al., ALICE Collaboration. Measurement of the Cross Section for Electromagnetic Dissociation with Neutron Emission in Pb-Pb Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV. Phys. Rev. Lett. V. 109, Pp. 252302–1–10 (2012)

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## AUTOMATION OF COUPLED NEUTRONIC THERMO- HYDRAULIC CALCULATION

*Kaprinayova K., Smirnov A.D, Tikhomirov G.V.*

*Institute of Nuclear Physics and Engineering,  
National Research Nuclear University MEPhI, Kashirskoe shosse, 31, Moscow,  
Russian Federation, 115409  
katarina.kaprinayova@gmail.com*

### Abstract

The coupling calculation can be managed manually. However, the risk of a human factor-caused error increases with the number of iterations and number of necessary operations within one iteration. Moreover, this solution is also inefficient in time. Therefore, a reasonable and time-saving solution is the automation of the calculation process. This paper is dedicated to automation of Serpent-ATHLET coupling calculation.

### Coupling of Serpent and ATHLET codes

The aim of this multi-physics model is reflecting the physics of a real facility, that can be used for determination of the characteristics of the reactor. External iterative scheme is shown in Fig. 1 [1]. Serpent code is used for neutron physics calculations [2] and ATHLET code is used for the thermal physics part [3]. However, these two codes cannot cooperate without external programs as the ATHLET output is not compatible with Serpent input format and vice versa, therefore, some external programs must be written.

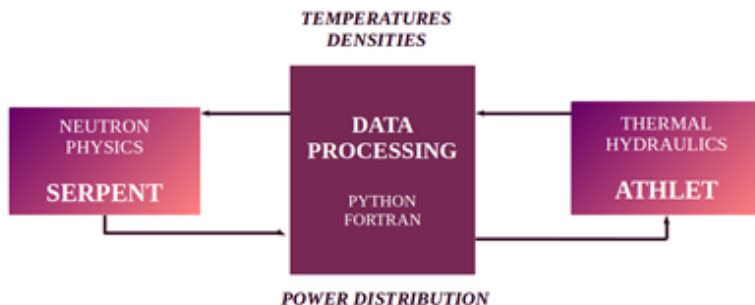


Fig. 1. Coupling scheme

With the increasing number of materials used in Serpent, runtime and also operational memory demands are rising [4]. For this work, it was necessary to use a supercomputer, as the computers available to us were not able to start the calculation due to lack of RAM memory.

Operating system of the supercomputer is Unix-based, which means that the installation of Serpent was not a problem, but this cannot be said about installation of ATHLET (except of the newest version). Therefore, it was necessary to use two computers and write bash and batch scripts that control the entire calculation.

### **References**

- [1] R. B. Bahdanovich, E. V. Bogdanova, I. D. Gamtsemlidze, S. P. Nikonov and G. V. Tikhomirov, “Test case for VVER-1000 complex modeling using MCU and ATHLET,” IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, vol. 781, 2017.
- [2] J. Leppänen. Development of a New Monte Carlo Reactor Physics Code, VTT Technical Research Centre of Finland, 2007. ISBN 978-951-38-7019-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
- [3] ATHLET Mod 3.1 Cycle A Program Overview. Gesellschaft für Anlagen-und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. February 2016. pp 12 <<https://www.grs.de/sites/default/files/fue/overview31a.pdf>> [cit. 01.12.2017]
- [4] J. Leppänen, M. Pusa, T. Viitanen, V. Valtavirta, and T. Kaltiaisenaho, “The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013,” Ann. Nucl. Energy, vol. 82 pp. 142-150, 2015.

**A STUDY ON THE SENSITIVITY OF MONTE CARLO  
METHOD IN MEASURING THE EFFECT OF RADIAL AND  
AXIAL BURNUP ON CRITICALITY AND NUCLIDE  
GENERATING IN VVER-1000 UGD FUEL ASSEMBLY USING  
SERPENT**

***Khrais R.A.<sup>1</sup>, Saldikov I.S.<sup>1</sup>, Smirnov A.D.<sup>1</sup>, Tikhomirov G.V.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *National Research Nuclear University MEPhI, Kashirskoe shosse, 31,  
Moscow, Russian Federation, 115409  
[reemkhrais.ne@gmail.com](mailto:reemkhrais.ne@gmail.com)*

A study on the fuel assembly of a Russian type nuclear reactor VVER-1000 fueled with low enriched Uranium (LEU) mixed with Gadolinium. This type of fuel requires validated computational methods and codes able to provide reliable predictions of the neutronics characteristics. At first, the results are verified by comparing to a previously published benchmark. This study investigates the interaction of SERPENT Monte Carlo code with the division of UGd rods into multiple radial layers following that Gadolinium is a strong neutron absorber (The strongest among other used absorbers) has a non-negligible self-shielding and rims effects. Data library used is ENDFb7. The effect of interest observed by the multiplication factor ( $K_{eff}$ ) and nuclide inventory versus amount of burnup, rod radius and neutron histories. The same procedure is done on another type of neutron absorber –Erbium- and compared with Gadolinium case. The sensitivity of the results determines the validity of Monte-Carlo code in such a computational task.



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**STUDY OF THE NONUNIFORMITY OF SCINTILLATOR  
TILES FOR HIGHLY GRANULAR CALORIMETERS**

**Korpachev S.S.<sup>1,2</sup>, Chadeeva M.V.<sup>1,2</sup>, Rusinov V.Y.<sup>1,3</sup>,  
Tarkovskii E.I.<sup>1,3</sup>, Bobchenko B.M.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Kashirskoe highway 31, 115409, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, 53 Leninskiy Prospect, 119991, Moscow, Russia*

<sup>3</sup> *The Institute for Theoretical and Experimental Physics, Bolshaya Chemushkinskaya st., 25, 117218, Moscow, Russia  
+79629969337, korpach@lebedev.ru*

The current trend in calorimetry is the development of highly granular calorimeters. This concept was developed for the detector system of the future linear collider experiments with the aim to apply the particle flow approach and achieve an unprecedented jet energy resolution. Such a calorimeter assembled from  $3 \times 3 \times 0.3 \text{ cm}^3$  scintillator tiles is now under construction and test by the CALICE collaboration. Though the highly granular design of the calorimeter system provides an opportunity to perform a sophisticated analysis and improve resolution, it also poses new challenges as for the construction and calibration of the detector system is concerned. The baseline design of the ILD detector for the ILC project considers the scintillator tiles readout by silicon photomultipliers (SiPM) as the main option for the hadron calorimeter. The direct readout concept was investigated and tested in refs. [1, 2, 3, 4].

We present here the study of the uniformity of response of individual tile to minimum ionising particles as well as the comparison of these experimental measurements to Geant4 simulations for different configurations of tile-SiPM couplings. An example of tile and foil for tile wrapping are shown in figure 1.

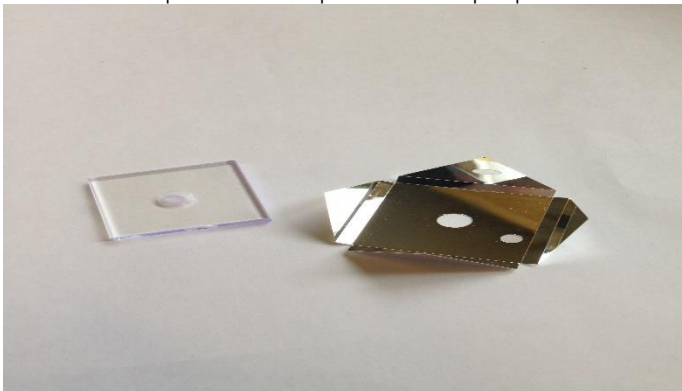


Figure 1. Photo of the scintillator tile (left) and the foil for wrapping (right).

#### References

1. Simon F. and Soldner C. 2010 Nucl. Instrum. Meth. A 620 196 (arXiv:1001.4665 [physics.ins-det]).
2. Blazey G. et al. 2009 Nucl. Instrum. Meth. A 605 277-81.
3. Abu-Ajamieh F. et al. 2011 Nucl. Instrum. Meth. A 659 348-54.
4. Bobchenko B. et al. 2015 Nucl. Instrum. Meth. A 787 166-8.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**PROPERTIES OF GALAXIES GROUPS FROM CfA2 REDSHIFT  
SURVEY WITH NUMBER OF MEMBERS MORE THAN 50**

**Lu Nhat Khanh**

*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow  
Speaker's phone: +7 925 918 7144, email: concord2020@gmail.com*

Clusters of galaxies are the largest gravitationally bound systems in the universe. Galaxy clusters can be identified from observational data in optical, X-ray and millimeter bands [1]. Research on groups of galaxies is related to question about the dependence of its properties on the characteristics of the surrounding medium, and the large scale structure of the Metagalaxy – see, for example, [2, 3].

Preliminary results of investigation of several groups of galaxies characteristics are discussed in the presented article. The studied objects were identified on the basis of the CfA2 redshift survey [2]. This catalog contain data of 1971 groups of galaxies (totally 6787 members) with  $n \geq 2$  members that have redshifts of 1000-15000 km/s and lie at galactic latitudes  $b \geq 20^\circ$  [4].

Table 1. Mean parameters of selected groups from CfA2 redshift survey

#	number of members	RQF, %	Heliocentric velocity, km/s	Mean distance of members of group from its centre, Mps
1046	337	2.328	$1847 \pm 519$	1.423
1101	118	0.784	$7433 \pm 751$	1.006
88	92	1.426	$5040 \pm 440$	1.357
933	63	0.372	$6656 \pm 703$	0.497
142	63	0.721	$4868 \pm 496$	0.667

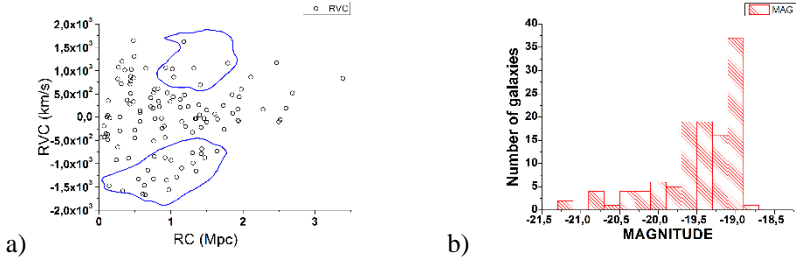


Fig.1. Characteristics of galaxies from group #1101: a) distribution on radial velocity and distance to center of group; b) distribution on absolute magnitude

We have analyzed groups of galaxies with number of members more than 50. There are five such objects - see table 1. Relative quantity of false members of groups listed in column RQF. Figure 1a presented distribution on radial velocity and distance to center of group of galaxies. Distribution on absolute magnitude of galaxy is shown at figure 1b.

Preliminary results assume concluding the presence of several peculiarities on analyzed distributions for group #1101 (marked by blue areas). These features could be caused by dynamic of galaxies motion in gravitationally bound group taking into account possible space-time inhomogeneities at large distances. So, investigation of peculiarities of motion of galaxies in groups allows studying properties of such inhomogeneities and understanding of its nature.

Author thanks Rakovskaya O. M. for help in preparation of data for processing.

#### References

1. Z. L. Wen, J. L. Han, F. Yang. A catalogue of clusters of galaxies identified from all sky surveys of 2MASS, WISE, and SuperCOSMOSarXiv:1712.02491v2. (2018).
2. A.P Mahtessian, V.G. Movsesian. List of groups of galaxies based on the CfA2 redshift survey. Astrophysics. Vol. 53, P. 70-81. (2010)
3. G. Efstathiou, R. S. Ellis, B. A. Peterson. Analysis of a complete galaxy redshift survey. II. The field-galaxy luminosity function. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 232. P. 431-461 (1988)
4. <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=VII/256/table2>

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE NUMBER OF THE PRIMARY COOLING CYCLE LOOPS ON THE ACCIDENT MITIGATION DURING LBLOCA

Mahmoud A.<sup>1</sup>, Mitrofanova O.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Nuclear Physics and Engineering,  
National Research Nuclear University MEPhI, Kashirskoe shosse, 31, Moscow,  
Russian Federation, 115409 [ahmed.samad@live.com](mailto:ahmed.samad@live.com)

### Abstract

One of the problems associated with the safety analysis of the PWRs is the coolant discharge rate following a rupture of the coolant piping. For high pressure, high temperature operating conditions, this discharge rate is governed initially by incompressible one-phase flow but it soon turns into steam-water mixture as the coolant depressurizes (flashing) from the high pressure to the ambient pressure of the containment and due to this high-pressure ratio, two-phase critical flow is formed. [1].

### Case and Method

Two reactors have been selected (VVER1200 and APR1400) to make the comparison since the first has four loops cooling cycle while the latter has two loops and they are considered of the same generation. The phenomenon of flashing has been studied in relation to the critical two-phase mass flow problem, on which many jobs have been done. Here, the critical flow has been determined as a function of the dryness fraction ( $x$ ) and the core pressure ( $P$ ) by the equation: [2]

$$(\rho\omega)_c = \alpha(x)P^{\beta(x)} \quad (1)$$

where,

$$\alpha(x) = 31.512 x^{-0.6845}$$

$$\beta(x) = -0.5496 x^2 + 0.7272 x + 0.7148$$

Table 1. Parameters of primary cooling cycles of reactors VVER1200 and APR1400 [3, 4]

Parameter	VVER-1200	APR-1400
Operating Pressure, MPa	16.2	15.514
Coolant Inlet Temperature at RV Inlet, °C	298.2	290.6
Coolant outlet Temperature at RV Outlet, °C	328.6	325
Coolant average temperature, °C	313.6	307.8
$P_{sat}$ at the average temperature, MPa	10.359	9.572
Coolant inventory in reactor coolant system (pressurizer system not considered), m <sup>3</sup>	298.2	266
Cold leg internal diameter, m	0.85	0.76
Hot leg internal diameter, m	0.85	1.07

## Results

As shown in fig. 1 and because of the lower number of loops, the APR1400 coolant will be fully evaporated through the hot leg in a time less than that is required for the VVER1200 coolant to be evaporated by about 46%. This increases the responsibility of safety injection system to assure safe shutdown. On the other hand, APR1400 is designed with two cold legs with a diameter smaller than that of VVER1200, which extends the period to full evaporation of the coolant.

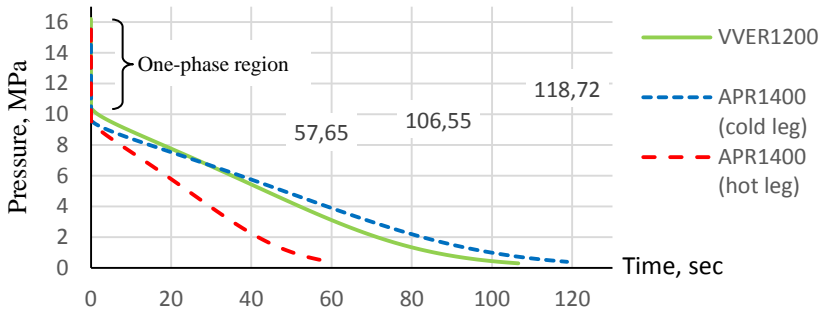


Fig.1. The rapid coolant depressurization through LBLOCA

## Conclusion

In this paper it's showed that the coolant's behavior of the PWRs through LBLOCA is strongly associated with the number of loops of the primary cooling cycle. Therefore a reactor with lower number of loops should be provided with reliable safety systems, which should to be

more efficient, have a higher performance and have a higher response to assure fast refill and reflood phases of an LBLOCA due to the available short period.

### **References**

- [1] Arto Ylönen, 2008. Large break blowdown test facility study.
- [2] A.C. Karson, V.C. Kharitonov, 2005. Critical two-phase flow.
- [3] IAEA, 2011. Status report 108 - VVER-1200 (V-491).
- [4] KEPCO and KHNP, 2013. APR1400 Design control document.

## VARIATIONS IN THE INTENSITY OF COSMIC RAY MUON BUNDLES ACCORDING TO DECOR DATA 2012-2017

*Yurina E.A., Bogdanov A.G., Dmitrieva A.N., Kokoulin R.P.,  
Shutenko V.V.*

*National Research Nuclear University MEPHI  
(Moscow Engineering Physics Institute), Moscow  
+7(968)960-94-02, eakovlyyaeva@mephi.ru*

Investigation of variations in the intensity of cosmic ray muon bundles detected at the ground level with the coordinate-tracking detector DECOR [1] over a long period of observations is considered. The muon bundle is the event with a simultaneous passage of several genetically related muons through the setup. The main sources of muon bundles are decays of pions and kaons generated in nuclear cascades initiated in the atmosphere by high energy primary cosmic ray particles.

It has been found that the measured intensity of the events shows clear seasonal variations, repeated every year of observations (see fig. 1). Every point in the figure represents one experimental run, the curve represents the results of the fitting with a harmonic function. The maximum intensity is observed in January, and the minimum in July.

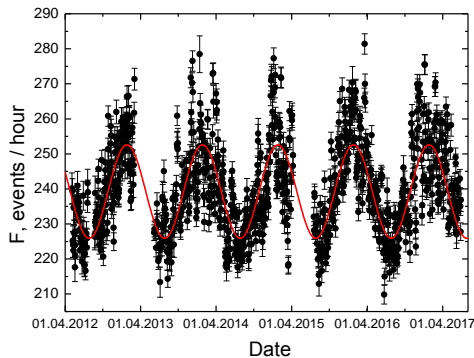


Fig. 1. Seasonal variations in the intensity of muon bundles during the observation period.



Correlations of the intensity of muon bundles with atmospheric pressure, mean air temperature and the altitude of the fixed pressure levels have been analyzed. Information on the temperature and altitude of the isobar surfaces for a set of residual pressure levels is available in the retrospective GDAS data [2]. Comparison of the correlation coefficients of the intensity of bundles with atmospheric pressure and the mean temperature of the atmosphere has shown that the main factor that influences the muon bundle intensity is the temperature effect.

Close correlations between muon bundle intensity and  $H_{500}$  (the altitude of 500 mbar residual pressure level) allow us to consider an “inverse” task-estimation of the isobar surface altitude from the measured event rate. The points in fig. 2 represent the parameter  $H_{500}$  reconstructed from DECOR data for the period Autumn 2016 - Winter 2017. The line in the figure corresponds to the data of independent meteorological observations (GDAS). The agreement is impressive.

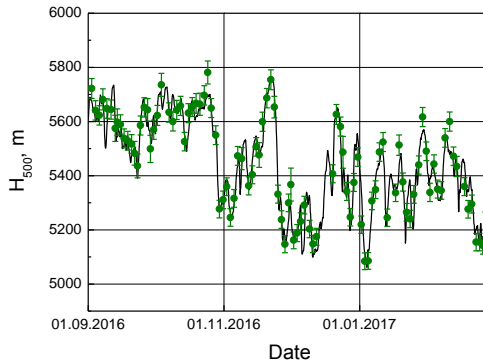


Fig. 2. Dependence of altitude of residual atmospheric pressure level 500 mbar on time

## References

1. N.S. Barbashina et al. A coordinate detector for studying horizontal fluxes of cosmic rays. *Instrum. Experim. Techniques*. Vol. 43. Issue 6. P. 743-746 (2000).
2. NOAA Air Resources Laboratory (ARL) <http://ready.arl.noaa.gov/gdas1.php> (2015).

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**NUCLEOSYNTHESIS AT MAGNETOROTATIONAL  
INSTABILITIES IN SUPERNOVA EXPLOSION**

**Zhomartova A.Zh.<sup>1,2</sup>, Kondratyev V.N.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *Bogolubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR, Dubna, Russia  
89850516669, zhomartova@jinr.ru*

Synthesis of chemical elements is investigated at conditions of magnetorotational instabilities in astrophysical plasma at supernova explosion. Respective strong magnetic fields are considered as noticeable pressure component for explosion mechanism. At such fields, magnetic modification of nuclear structure is shown to shift the nuclear magic numbers in the iron region towards smaller mass numbers approaching titanium. Consequently, maximum of nucleosynthesis products is modified with an enhancement of titanium yield. The results are corroborated with an excess of <sup>44</sup>Ti revealed from the INTEGRAL mission data for young supernova remnants at a field strength of teratesla. Such magnetic impact on nucleosynthesis in galactic chemical evolution is discussed.

Reference

1. Kondratyev V.N., EPJ A.50, 2014,7.
2. Kondratyev V.N., Korovina Yu.V., Mishenina T.V., OAP 28, 2015, 168.
3. S.E. Woosley, A. Heger, T.A. Weaver, Rev. Mod. Phys. 74, 1015 (2002).
4. V.N. Kondratyev, H.O. Lutz, S. Ayik, J. Chem. Phys. 106, 7766 (1997).

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СТАЛЯХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ СКАНИРУЮЩЕЙ КОНТАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ И ДИФРАКЦИИ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

Абу Газал А.А.<sup>1</sup>, Сурин В.И.<sup>1</sup>, Бокучава Г.Д.<sup>2</sup>, Панушкин И.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ЛНФ ОИЯИ, г. Дубна, Россия

+79778502523., [gazal.ayman@yandex.ru](mailto:gazal.ayman@yandex.ru)

Исследована динамика образования  $\alpha$ -мартенсита при высокой степени деформации аустенитной стали. Приведены результаты физико-механических испытаний на разрушение стали X18H10T в интервале приложенных напряжений 100÷700 МПа, полученные синхронно с помощью двух экспериментальных методов: сканирующей контактной потенциометрии и дифракции тепловых нейтронов.

Эксперименты по дифракции нейтронов проводились на фурье-стресс-дифрактометре ФСД на импульсном реакторе ИБР-2 в ЛНФ ОИЯИ (Дубна) [1, 2]. Образец подвергался внешней одноосной нагрузке растяжения *in situ* в нейтронном пучке с помощью нагрузочной машины LM-29. При этом детекторами при углах рассеяния  $2\theta = \pm 90^\circ$  регистрировались дифракционные спектры при каждом значении нагрузки на образце.

Потенциометрические измерения выполнены с помощью настольного прибора *Spectroelph-FRR*, предназначенного для спектрального анализа электрических сигналов [3].

Прибор *Spectroelph-FRR* работает совместно с программно-аппаратным комплексом мобильной диагностической системы, размещенной на ноутбуке *Asus X554L*. Для проведения измерений в режиме автоматизированного детектирования был разработан программируемый амплитудный дискриминатор (ПАД) измерительных сигналов с регулируемой шкалой амплитудной дискриминации в диапазоне 40 дБ. Дискриминатор отсекает значения амплитуды сигнала, превышающие заданный уровень, что позволяет исследовать распределение поверхностного

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
электрического потенциала на разных масштабных уровнях. Узкополосный фильтр позволяет настраивать ПАД по амплитуде, начиная с уровня десятых микровольт, с шагом 0,1 мкВ, широкополосный – от единиц и до десятков милливольт. Измерительная система управляется OS *Windows*, частота дискретизации измерений составляет 1 Гц.

### **Литература**

1. G.D. Bokuchava, V.L. Aksenov, A.M. Balagurov et al, «Neutron Fourier diffractometer FSD for internal stress analysis» // *Materials Science & Processing*, - Germany, 2002.
2. Г.Д. Бокучава, А.М. Балагуров, И.В. Папушкин и др., «Нейтронный фурье-дифрактометр ФСД для исследования остаточных напряжений в материалах и промышленных изделиях»// *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, - М. 2010.
3. V.I. Surin, A.A. Abu Ghazal, E.V. Voloshin, E.Y. Telnov, D.O. Titovets, «Device's for measuring contact surface stress»// *Journal of Advanced Research in Technical Science*, -North Charleston 2017.p.48-54

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ЗАВОДСКИХ УСЛОВИЯХ**

***Абу Газал А.А.<sup>1</sup>, Сурин В.И.<sup>1</sup>, Алвахеба А.И.<sup>1</sup>  
Бекетов В.Г.<sup>2</sup>, Дембицкий А.Е.<sup>2</sup>, Гусев Д.А.<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия*

*<sup>2</sup>ВИТИ НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск, Россия  
+79778502523., gazal.ayman@yandex.ru*

Апробация электрофизического метода неразрушающего контроля прошла осенью прошлого года в Ресурсном центре НИЯУ МИФИ на площадке АО «АЭМ-Технологии «Атоммаш» в г. Волгодонске [1]. Объектом неразрушающего контроля являлись сварные соединения приварки коллектора первого контура к корпусу образцов-парогенераторов ПГВ 1000. Методом сканирующей контактной потенциометрии были проведены поточечные измерения с помощью переносного электрофизического прибора, а затем проведено сканирование поверхности ручным электрофизическим дефектоскопом ЭДСС – 1РД [2].

Неразрушающий контроль коллектора парогенератора ПГВ 1000 в заводских условиях выполнен с применением локального теплового подогрева (при температуре 60...90°C), а также с пропусканием постоянного электрического тока (силой до 0,6 А, напряжением 3,6 В) через диаметрально-противоположные точки, расположенные на оси сварного соединения (СС). Для этого неподвижный датчик закреплялся на стапеле парогенератора с помощью магнитов. Применяли датчики с электрофизическими преобразователями из стали 45 и стали Х18Н10Т. Механическое перемещение датчика по поверхности образца осуществляли по восьми измерительным дорожкам, четыре из которых принадлежали левой части СС (относительно оси симметрии) и четыре – правой. При средней скорости сканирования поверхности СС дефектоскопом 10...20 мм/с, время одного сета измерений изменялось в пределах пятиминутного интервала.

При измерениях с пропусканием тока использовали локальные токоподводы в диаметрально противоположных точках шва. Поточечное сканирование поверхности проводилось вручную, послышной анализ сигнала на различных структурных уровнях выполняли с помощью программируемого амплитудного дискриминатора.

По результатам электрофизического неразрушающего контроля проведена оценка технического состояния СС. Поточечное сканирование показывает множественные поверхностные несовершенства для значений СУС, равных трем и выше, обусловленные как присутствием отдельных пятен ржавчины, так и следами очаговой коррозии, а также наличием мелких выбоин, царапин и других несовершенств. На потенциограммах они проявляется в виде отдельных точек и цветowych пятен, переходящих в обширные пятна большого диаметра и широкие полосы.

#### Литература

1. V. G.Beketov, V. I.Surin, A. E.Dembitsky, A. A.Abu Ghazal, A. I.Alwaheba, (2017), “Control Quality of Welded Joints by Scanning Contact Potentiometry Method” in XIII International Youth Scientific and Practical Conference “FUTURE OF ATOMIC ENERGY – AtomFuture 2017”, KnE Life Sciences, pages 195–204. DOI 10.18502/23.

2. В.И.Сурин, З.С.Волкова, Р.А.Денисов, В.Д. Мотовилин, Н.В Рейн. Методы электрофизической диагностики и контроля реакторного оборудования// Глобальная ядерная безопасность – М.: НИЯУ МИФИ, 2016, №4(21), с. 51-62.

## **ВЛИЯНИЕ ВЫГОРАЮЩИХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ (GD И EU ) НА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВС РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000**

*Абу Сондос М. А., Демин В. М.*

*НИЯУ МИФИ, г. Москва, РФ  
электронная почта: MAbusondos@mephi.ru*

Основными реакторными установками для АЭС, которые эксплуатируются и сооружаются в настоящее время, являются водо-водяные легководные реакторы (например, ВВЭР-1000).

Одной из важнейших целей научно-технических разработок, касающихся топливного цикла энергетических реакторов, является увеличение глубины выгорания топлива. Обычно оно достигается путем повышения начального обогащения и использования выгорающих поглотителей.

Выгорающий поглотитель представляет собой материал с высоким сечением поглощения нейтронов. В качестве выгорающего поглотителя в реакторных установках типа PWR, ВВЭР применяются гадолиний  $Gd_2O_3$  или европий  $Eu_2O_3$  [1].

Обычно гадолиний и европий размещаются в твэлах, полностью заполненных таблетками из однородной смеси топлива и выгорающего поглотителя природного изотопного состава. Топливные таблетки, содержащие однородную смесь  $Gd_2O_3$  или  $Eu_2O_3$  и  $UO_2$ , просты в изготовлении и позволяют адекватно контролировать реактивность. Дальнейшее развитие технологий водо-водяных реакторов требует оптимизации размещения выгорающего поглотителя в активной зоне.

Переход к новому виду топлива увеличивает по абсолютному значению отрицательный температурный коэффициент реактивности. Гомогенное распределение выгорающего поглотителя в топливе приводит к:

- 1) ухудшению теплопроводности;
- 2) снижению температуры плавления топлива.

В новом топливе происходит быстрое выгорание сильнопоглощающих изотопов гадолиния  $^{155}Gd$ ,  $^{157}Gd$ , что

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
принуждает искать другие выгорающие поглотители, например европий  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ .

В настоящей работе проведено исследование влияния выгорающих поглотителей на изменение нейтронно-физических характеристик ядерного топлива реакторов ВВЭР-1000. При этом проведено исследование нескольких вариантов топлива (В1-В5), представленных в таблице 1.

Таблица 1. Концентрация изотопов топлива в рассмотренных вариантах.

Вариант	Количество и топливо твэлов	Изотопы	Концентрация (г/см <sup>3</sup> )
B <sub>1</sub>	306 - 4,4% ( <sup>235</sup> U) 6 - 3,6 %	<sup>235</sup> U <sup>238</sup> U <sup>16</sup> O	0,456945
B <sub>2</sub>	306 - 4,4% ( <sup>235</sup> U) 6 - 3,6% ( <sup>235</sup> U) с 5% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		8,792778 1,244445
B <sub>3</sub>	306 - 4,4% ( <sup>235</sup> U) 6 - 3,6% ( <sup>235</sup> U) с 5% Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<sup>152</sup> Gd <sup>154</sup> Gd <sup>155</sup> Gd <sup>156</sup> Gd <sup>157</sup> Gd <sup>158</sup> Gd <sup>160</sup> Gd <sup>16</sup> O	0,012213
B <sub>4</sub>	306 - 4,4% ( <sup>235</sup> U) 6 - 3,6% ( <sup>235</sup> U) с 2,5% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и 2,5 % Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,1282365
			0,903762
			1,2579939
B <sub>5</sub>	306 - 4,4% ( <sup>235</sup> U) 3 - 3,6% ( <sup>235</sup> U) с 5% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 3 - 3,6% ( <sup>235</sup> U)с с 5% Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,95566725	
		1,514412	
			1,331217
			0,93348066
		<sup>151</sup> Eu <sup>153</sup> Eu <sup>16</sup> O	2,23047576 2,43872198 0,71376271

Все расчеты были выполнены методом Монте-Карло с использованием бета-версии 2.1.29 кода SERPENT 2 для сборки ТВС-А типа 439GT [2]. Основное внимание уделено анализу зависимости от глубины выгорания коэффициента размножения нейтронов  $K_{эф}$ , реактивности и изотопного состава топлива.

#### Литература

1. A. Abdelghafar Galahom. Study of the possibility of using Europium and Pyrex alloy as burnable absorber in PWR. Annals of Nuclear Energy Volume 110, December 2017, Pages 1127-1133.
2. Ondrej Novak a,†, Ondrej Chvala b, Nicholas P. Luciano b, G. Ivan Maldonado." VVER 1000 Khmelniyskiy benchmark analysis calculated by Serpent2". Annals of Nuclear Energy 110 (2017) 948–957.



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЙОНА  
АЭС В ИОРДАНИИ**

**Адалем Е.А.<sup>1</sup>, Елохин А.П.<sup>1</sup>, Ксенофонтов А.И.<sup>1</sup>, Федоров  
П.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ  
(Московский инженерно-физический институт)*

<sup>2</sup>*Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по  
ядерной и радиационной безопасности»  
Tel. 8 (968) 825-55-44, e-mail: issaalem2@yahoo.com*

В работе приводятся данные метеорологических характеристик района строительства АЭС в Иордании, представляющих собой измерения скорости ветра и температуры на различной высоте на метеомачте, для различных сезонов в различное время суток. Полученные характеристики дают возможность провести расчёты метеорологических параметров приземного слоя атмосферы - скорости воздушного потока, температуры, коэффициента турбулентной диффузии и энергии турбулентных пульсаций в виде функций высоты, что позволяет сформулировать задачу по оценке радиоактивного загрязнения окружающей среды в рамках модели приземного слоя атмосферы в условиях гипотетической аварии на АЭС в Иордании, а также провести исследования необходимого и достаточного количества детекторов ионизирующего излучения, размещаемых вокруг АЭС. Указанная модель в дальнейшем может быть использована для оперативной оценки последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды.

**Ключевые слова:** радиационная авария, метеорологические характеристики, ионизирующее излучение, радиоактивное загрязнение окружающей среды, детекторы ионизирующего излучения.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫЛЕТА ЧАСТИЦ ИЗ  
ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК СФЕРИЧЕСКОЙ И  
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМ**

*Атовуллаев Т.А., Кузнецова М.Е.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет*

На сегодняшний день проблема работы с использованным ядерным топливом является актуальной. Наличие в таком топливе источников ионизирующего излучения с большим периодом полураспада представляет опасность для человека и окружающей среды. Величина воздействия зависит от параметров частиц вылетающих из топлива, которые в свою очередь зависят от условий эксплуатации, а также от формы, состава, типа топлива. На сегодняшний день является перспективным использование диспергированного торий-плутониевого топлива. Топливо с шаровой засыпкой будет использовано в высокотемпературных газоохлаждаемых ториевых реакторных установках (ВГТРУ) нового поколения. Достоинствами таких установок являются безопасность, высокий КПД, возможность наработки гелия, а также возможность производства топлива на отечественных предприятиях. Целью данной работы является разработка мер безопасности при работе с отработавшим диспергированным ядерным торий-плутониевым топливом для реакторов нового поколения. В соответствии с поставленной целью были решены следующие задачи: рассчитаны вероятности вылета частиц из образцов сферической и цилиндрической формы, получены энергетические спектры альфа частиц вылетающих из ядра сферической формы и спектр нейтронов, вылетающих из топливной таблетки цилиндрической формы.

В ходе работы были получены формулы для расчета вероятности вылета частиц из топливных таблеток с диспергированным ториевым топливом для ВГТРУ. Произведены расчеты вероятности вылета и спектра альфа частиц из ядра сферической формы на примере U-235, а также вероятности вылета и спектра нейтронов из топливной таблетки цилиндрической

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

формы. Для расчета использовалась база данных SRIM и пакет Wolfram Mathematica. По полученным формулам можно провести расчеты для любой композиции топлива в ядрах и топливных таблетках сферических и цилиндрических форм. Также, если известны потери энергии частиц на единице пути, то эти формулы позволяют рассчитать спектр вылета для данных частиц из образцов вышеприведенных форм.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Беденко С. В.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ПОРИСТОГО ТЕЛА К  
ОПИСАНИЮ ГИДРОДИНАМИКИ ШЕРОХОВАТЫХ  
КАНАЛОВ**

**Балберкина Ю.Н.<sup>1</sup>, Федосеев В.Н.<sup>1</sup>, Корсун А.С.<sup>1</sup>,  
Писаревский М.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва, Россия.*

*конт. тел: 8(917)536-30-34, e-mail: yusik\_b@mail.ru*

**Аннотация**

Для каналов сложной формы с шероховатыми стенками универсальный профиль может быть использован для формулировки граничного условия при применении к расчету моделей турбулентности. В работе излагается эмпирическая модель для определения константы универсального логарифмического профиля. Зона шероховатости описывается совокупностью параметров и рассматривается как пористая структура с переменной пористостью. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-19-10548).

**Введение**

Проанализировав данные, представленные в [1,2], сделан вывод о зависимости гидравлического сопротивления от нескольких параметров шероховатости: высоты и шага выступов. При одном и том же значении высоты выступа, но разным значениях шага выступов значение гидравлического сопротивления меняется значительно, вплоть до 50 %. Часть данных представлено в таблице №1.

Таблица №1. Данные измерения гидравлического сопротивления

№	k, см	d, м	k/d	D, см	Re	$\lambda$	$\Delta$ , %
1	0,375	10	0,0375	4	$10^7$	0,058	42
2	0,375	10	0,0375	2	$10^7$	0,083	
3	0,26	10	0,026	4	$10^7$	0,0508	37
4	0,26	10	0,026	2	$10^7$	0,0698	

$$\lambda = \lambda\left(\frac{K}{d}, \text{Re}, D\right)$$

, где  $K$  – высота выступа шероховатости,  $d$  - диаметр трубы,  $D$  - расстояние между выступами по ширине и длине [1].

Авторами предлагается для описания шероховатых поверхностей использовать комплекс размерных параметров.

### **Параметры, определяющие структуру шероховатости**

Минимальный предлагаемый набор параметров, характеризующих шероховатость включает:  $\delta_{\uparrow}$  – высотный параметр, определяющий среднюю высоту выступов шероховатости;  $\delta_{\perp}$  – широтный параметр, равный шагу неровностей профиля, определяемый ГОСТом и  $\bar{\varepsilon}$  – среднее значение пористости зоны шероховатости или (и)закон изменения пористости по высоте шероховатости.

### **Логарифмического профиль скорости**

Логарифмический профиль скорости можно представить в виде [3]:

$$\frac{V_x(y)}{V_*} = 2,5 \ln \frac{y}{\delta_{\uparrow}} + \Phi$$

Для параметра  $\Phi$  предлагается представление в виде:

$$\Phi = \Phi_r (1 - \varphi) + \Phi_{\text{ш}} \varphi$$

, где  $\Phi_r$  и  $\Phi_{\text{ш}}$  - предельные значения для гладкой и абсолютно шероховатой трубы,  $\varphi$  - переходная функция [4] . Значение  $\Phi_r$  одинаково для любой шероховатости, а  $\Phi_{\text{ш}}$  представляется как функция от параметров шероховатости:

$$\Phi_{\text{ш}} = \Phi_{\text{ш}}\left(\frac{\delta_{\perp}}{\delta_{\uparrow}}, \bar{\varepsilon}\right)$$

### **Литература**

1. Г.Шлихтинг. Теория пограничного слоя. Изд. «Наука». Москва 1974.
2. L.F. Moody. Friction factors for pipe flow. Trans. ASME 671 (1944).
3. Л.Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа. Изд.5-е, -М.: Наука. 1978, с 736.
4. A.S. Korsun, M.I. Pisarevsky, V.N. Fedoseev, M.V. Kreps. Velocity distribution in a turbulent flow near a rough wallJ. Phys.: Conf. Ser. 891 012065. Doi :10.1088/1742-6596/891/1/012065. 2017.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АЭС ПРИ  
ПЕРЕХОДЕ С 12 -НА 18-МЕСЯЧНЫЙ ЦИКЛ  
ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Белякова Н.О., Амантурлиева Ю.Ж., Фролова М.А.

*БИТИ НИЯУ МИФИ, г.Балаково*

В настоящее время уровень энергопотребления многократно возрастает, в связи с чем атомная энергетика сегодня рассматривается, как один из самых перспективных способов создания электрической и тепловой энергии.

Атомные электростанции имеют достаточно много преимуществ, однако вместе с этим существует и их потенциальная опасность, избежать которую можно лишь при обеспечении высокой степени безопасности при эксплуатации.

Для безопасного функционирования атомных станций требуется постоянная модернизация, позволяющая увеличить надёжность элементов применяемого оборудования.

Одним из способов повышения уровня безопасности эксплуатации, а также улучшение технико-экономических характеристик, является переход на восемнадцатимесячный межремонтный цикл, требующий при этом совершенствование ядерного топлива.

С учётом данных требований проводится ряд модернизаций ядерного топлива, улучшающих эксплуатационные характеристики используемых тепловыделяющих сборок (ТВС), а именно внедряется ТВС-2М с удлиненным топливным столбом и жестким каркасом, применяются новые перспективные сплавы для изготовления оболочек тепловыделяющих элементов и т.д. [1]

Проведенная расчетная оценка топливных циклов показывает эффективность перехода на восемнадцатимесячный топливный цикл [2].

Интенсивность отказов топливной матрицы для 12-месячного топливного цикла составляет  $\lambda_{1\text{табл}}=1*10^{-5}$ (1/мес), для 18-месячного топливного цикла –  $\lambda_{2\text{табл}}=1*10^{-6}$ (1/мес).

Средняя наработка на отказ системы:

$$T_1 = \frac{1}{\lambda_{1\text{табл}}} = \frac{1}{1*10^{-5}} = 0,00001(\text{мес}) \quad (1)$$

$$T_2 = \frac{1}{\lambda_{2\text{табл}}} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-6}} = 0,000001(\text{мес}) \quad (2)$$

Периодичность проведения технического обслуживания с уровнем доверительной вероятности 0.9995 составляет:

$$\tau_1 = -\frac{\ln 0.9995}{\lambda_{1\text{табл}}} = 50.012(\text{мес}) \quad (3)$$

$$\tau_2 = -\frac{\ln 0.9995}{\lambda_{2\text{табл}}} = 500.12(\text{мес}) \quad (4)$$

Изменение вероятностей безотказной работы представлено на рисунке 1.

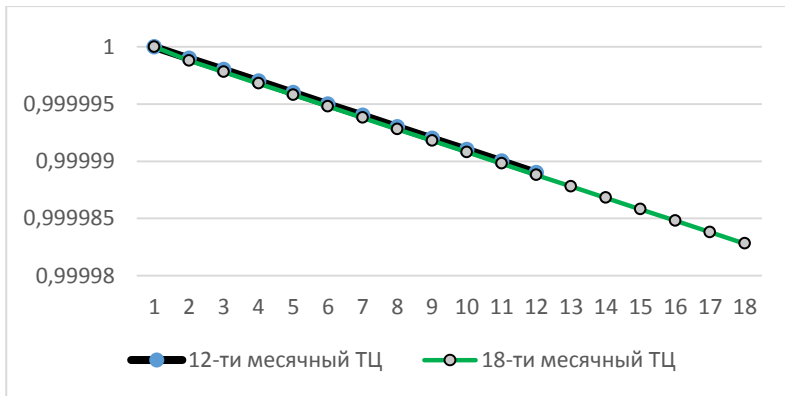


Рисунок 1 – График вероятности безотказной работы топливной матрицы при 12- и 18-месячном топливных циклах

Анализ полученных графиков показывает, что совершенствование ядерного топлива позволяет перейти к работе в увеличенных межремонтных циклах, при этом обеспечивает безопасную и надёжную эксплуатацию элементов АЭС.

Литература

1. Бессонов В.Н. Эксплуатация энергоблоков Балаковской АЭС с использованием 18-месячного топливного цикла/ В.Н. Бессонов – Балаково.: Филиал ОАО «Концерн росэнергоатом», «Балаковская атомная станция», 31 с.

2. Надежность оборудования реакторных установок АЭС. Руководящий технический материал, 1988, 196 с.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЁРОВ ДЛЯ  
НАСТРОЙКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ  
ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС**

**Володин В.С., Толоконский А.О.**

*НИЯУ МИФИ, ИЯФuТ, Москва  
89160043950, aincrad32@gmail.com*

Каждый энергоблок атомной станции оснащается АСУ ТП АЭС. К основным функциям АСУ ТП АЭС относится управление технологическими процессами в оборудовании энергоблока посредством автоматических регуляторов, обеспечивая оптимальность процесса выработки электроэнергии в соответствии с различными критериями.

Одним из основных регуляторов блока является регулятор давления в первом контуре (над активной зоной), обеспечивающий поддержание давления в первом контуре в соответствии с заданным значением при работе реактора на мощности. Регулятор управляет включением и выключением ТЭН компенсатора давления (КД) и воздействует на клапаны впрыска в паровое пространство КД. Исполнительными механизмами регулятора давления в первом контуре являются регулирующий клапан впрыска и быстродействующие задвижки на линиях впрыска в КД.

Как известно, на этапе проектирования АЭС проектными решениями закладываются свойства самозащищённости и саморегулирования реакторной установки (РУ) [1]. Это позволяет производить описание объектов управления, входящих в РУ, передаточными функциями, аппроксимированными дробно-рациональными функциями с введением, в случае необходимости, транспортного запаздывания [2]. Переходные характеристики таких ОУ обычно представляют собой монотонную функцию (рисунок 1).



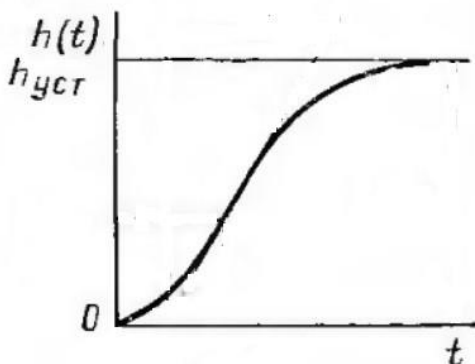


Рис.1. Переходная характеристика ОУ с саморегулированием  
Аппроксимирующая передаточная функция имеет следующий вид (1):

$$W_a(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T p + 1)^m}, \text{ где } m = 1, 2 \dots (1)$$

В параметрах передаточной функции содержатся технологические характеристики оборудования блока, которые используются и при разработке аналитических тренажёров (АТ) энергоблоков. С помощью указанной аппроксимации передаточной функции ОУ можно значительно упростить процесс настройки автоматических регуляторов энергоблока, используя соответствующий АТ. Каждый блок оснащается собственным АТ в виду уникальных характеристик его технологического оборудования. Данный метод позволит сократить экономические потери, возникающие при итерационной настройке регулирующих устройств в процессе наладки блока.

#### Литература

1. Выговский, С.Б. и др. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР: учебное пособие / С.Б. Выговский. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 376 с.
2. Нетушил, А.В. и др. Теория автоматического управления. Под ред. А.В. Нетушила. Учебник для вузов. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1976. – 400 с

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**РЕГИСТРАЦИЯ ОДИНОЧНЫХ МЮОНОВ ТЕЛЕСКОПОМ  
УСТАНОВКИ TAIGA-IACT**

**Волчугов П.А.<sup>1</sup> от коллаборации TAIGA**

<sup>1</sup> *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», Научно-исследовательский институт прикладной физики, Иркутск, Россия.  
89642253323, [pvol4@ya.ru](mailto:pvol4@ya.ru)*

Наземная гамма-астрономия является перспективным и быстро развивающимся направлением в экспериментальной астрофизике. Данная область исследований нацелена на поиск и изучение точечных источников гамма-квантов высокой энергии. В связи с этим в мире существуют и создаются многочисленные эксперименты, к одному из которых относится и установка TAIGA-IACT в составе гамма-обсерватории TAIGA[1]. Комплекс расположен в Тункинской долине (Республика Бурятия) в 50 км от оз. Байкал.

В докладе описывается схема эксперимента для регистрации одиночных мюонов, реализованная на совместной работе сцинтилляционных счетчиков и телескопа установки TAIGA-IACT, представлена методика обработки данных. Результаты эксперимента послужат основой для последующей калибровки телескопов установки TAIGA-IACT.

Литература

1. N. Budnev et al., The TAIGA experiment: from cosmic ray to gamma-ray astronomy in the Tunka valley, J. Phys. Conf. Ser. **718** (2016) 052006.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБЫТИЙ С ВЫСОКОЙ  
МНОЖЕСТВЕННОСТЬЮ В ДРЕЙФОВЫХ КАМЕРАХ**

**Воробьев В.С., Задеба Е.А.**

*Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”  
Тел.: 8(963)756-07-69, e-mail: VSVorobev@mephi.ru*

В НИЯУ МИФИ разрабатывается координатно-трековый детектор на основе дрейфовых камер для исследования групп мюонов, генерируемых первичными космическими лучами сверхвысоких энергий. Проект направлен на решение проблемы избытка групп мюонов, величина которого растёт с увеличением энергии первичных космических лучей, что может быть вызвано как космофизическими, так и ядерно-физическими причинами [1]. Существующий детектор ДЕКОР не позволяет разделять соседние треки мюонов на расстоянии менее 3 см, из-за чего невозможно точно определить множественность группы мюонов в событиях с плотностью более 2 частиц на м<sup>2</sup>. Дрейфовые камеры способны разделять треки мюонов на расстоянии от 3 мм и выше, что позволяет исследовать события с высокой плотностью частиц.

В настоящее время создан прототип детектора, именуемый координатно-трековая установка на дрейфовых камерах (КТУДК) [2]. Установка состоит из 16 камер с общей площадью 30 м<sup>2</sup>. Для реконструкции событий используются 3 метода: перебора, поиска прямолинейного участка и гистограммирования [3]. На рисунке 1 представлен пример реконструкции события с плотностью мюонов 5 частиц на м<sup>2</sup> методом гистограммирования.

В докладе представлены также результаты отбора событий с группами мюонов.

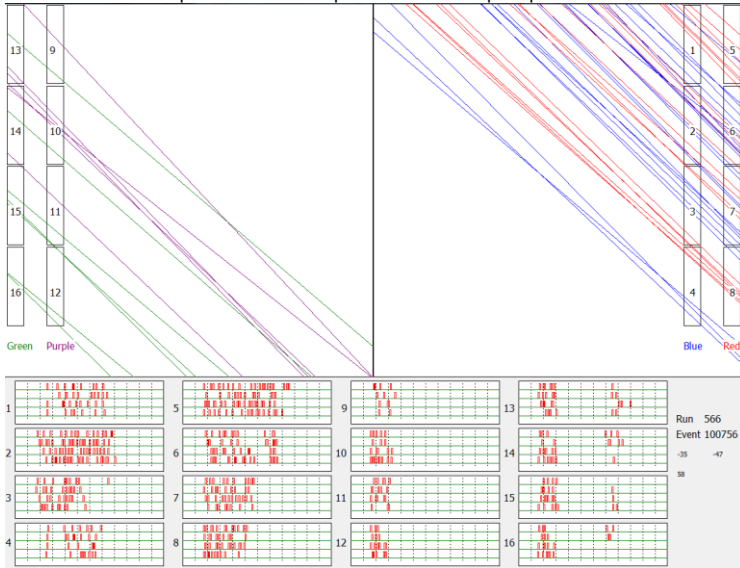


Рис. 1. Реконструкция события по данным КТУДК с плотностью 5 частиц на  $m^2$ .

### Литература

V.S.Vorobyev et at., Methods of reconstruction of multi-particle events in the new coordinate-tracking setup. Journal of Physics: Conf. Series. 2017. 945. 012027

1. A.A. Petrukhin, Muon puzzle in cosmic ray experiments and its possible solution Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A. 742. 228. 2014.

2. E.A. Zadeba et al., The coordinate-tracking detector based on the drift chambers for ultrahigh-energy cosmic ray investigations. Journal of Instrumentation. 9. C08018. 2014.

3. V.S.Vorobyev et at., Methods of reconstruction of multi-particle events in the new coordinate-tracking setup. Journal of Physics: Conf. Series. 945. 012027. 2017.

**Ядерная физика и технологии,**  
**теоретическая физика и астрофизика**

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЯЭУ  
ВВЭР-1200 ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СУТОЧНЫХ  
МАНЕВРЕННЫХ РЕЖИМОВ**

**Выговский С.Б., Аль Малкави Р.Т.**

*НИЯУ МИФИ 115409, г. Москва, Россия, +7(916) 511 43 42,  
[vigovskii@mail.ru](mailto:vigovskii@mail.ru)*

В настоящей работе приведены результаты численных исследований алгоритмов управления пространственным распределением нейтронного поля в активной зоне реакторов ВВЭР-1200 при реализации суточных маневренных режимов на АЭС с ВВЭР. Была показана возможность автоматизированного регулирования аксиальным офсетом нейтронной мощности с использованием одной из управляющих групп ОР СУЗ для минимизации водообмена при сохранении всех полевых ограничений по локальной мощности в зоне, и снятия психологической нагрузки на оперативный персонал АЭС в маневренных режимах. Исследования проводились на базе программного комплекса ПРОСТОР, используемого в настоящее время в УТЦ Ново-Воронежской АЭС для проведения занятий с оперативным персоналом АЭС и их обучения оптимальным алгоритмам управления энергоблоком в маневренных режимах. Была предложена методология настройки параметров офсетного регулирования в зависимости от нейтронно-физических характеристик активной зоны, и были отобраны наиболее оптимальные стратегии управления, которые позволили во время суточных маневренных режимов свести дополнительные затраты по водообмену, практически, к нулю. Актуальность проведенных исследований связана с тем, что для вновь строящихся АЭС с ВВЭР по проекту АЭС-2006 в России предполагается тестирование суточных режимов работы АЭС с маневрированием мощности в широком интервале их значений. На НВАЭС-2 и ЛАЭС-2 предполагается использовать суточные режимы от 100% номинальной мощности в дневное время суток до 75% и 50% в ночное время. Проверка возможности работы энергоблоков в

**Ядерная физика и технологии,**  
**теоретическая физика и астрофизика**

таких режимах и их надежности позволит повысить конкурентную способность оборудования АЭС с ВВЭР за рубежом.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ  
НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРОВ ВВЭР ОТ  
ТЕМПЕРАТУРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ТОПЛИВЕ И ЕГО  
ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ КСЕНОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ  
В ЗОНЕ**

***Выговский С.Б., Груздов Ф. В., Аль Малкави Р.Т.***

*НИЯУ МИФИ 115409, г. Москва, Россия, +7(916) 511 43 42,  
[vigovskii@mail.ru](mailto:vigovskii@mail.ru)*

В докладе представлены результаты исследований зависимости нейтронно-физических характеристик активной зоны реакторов ВВЭР-1000(1200) от температурного распределения в топливе и его влияния на параметры ксеноновых процессов в зоне. Целью данных исследований было уточнение методологии учета температурного распределения в расчете доплеровского эффекта реактивности. В докладе приведена усовершенствованная методика учета температурного распределения в топливе в расчете резонансного захвата нейтронов на уране-238. Приведены результаты расчета параметров ксеноновых колебаний, полученных в ходе пусконаладочных испытаний некоторых энергоблоков с реактором ВВЭР-1000, с использованием усовершенствованной методики учета температурного распределения в топливе на нейтронно-физические характеристики активной зоны реактора ВВЭР-1000. Данные результаты показали, что в реальности более точный учет температурного распределения в топливе, заметно снижает стабилизирующую роль эффекта доплеровского уширения в ксеноновых процессах. Этот факт становится особенно важным при реализации суточного регулирования мощности в маневренных режимах, планируемых на АЭС нового поколения.

### **Литература**

1. А . Вейнберг, Е. Вигнер ,Физическая теория ядерных реакторов. - М.: 1961.

2. Э.Ф.Крючков, Л.Н. Юрова ,Теория переноса нейтронов. - М.: 2007.

3.Л. Дреснер, Резонансное поглощение в ядерных реакторах. - М.: 1962.

4. Г.А.Бать, Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. – Москва, Энергоиздат, 1982.

5. С.Б. Выговский, В.Г. Зимин, Е.В. Чернов и другие. Приложение к аттестационному паспорту №182 от 28.10.2004г. Программный комплекс ПРОСТОР (версия 1).



**Ядерная физика и технологии,**  
**теоретическая физика и астрофизика**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАВИСИМОСТИ**  
**ПРОВОДИМОСТИ ГАЗОВОГО ЗАЗОРА В ТОПЛИВЕ**  
**РЕАКТОРОВ ВВЭР ОТ ГЛУБИНЫ ВЫГОРАНИЯ НА**  
**НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**  
**АКТИВНОЙ ЗОНЫ**

***Выговский С.Б., Груздов Ф. В., Аль Малкави Р.Т.***

*НИЯУ МИФИ 115409, г. Москва, Россия, +7(916) 511 43 42,  
[vigovskii@mail.ru](mailto:vigovskii@mail.ru)*

В данной работе представлены результаты исследований зависимости нейтронно-физических характеристик активной зоны реакторов ВВЭР-1000(1200) от поведения проводимости газового зазора в топливном элементе при выгорании топлива. Целью данных исследований было уточнение зависимости проводимости зазора от выгорания топлива по данным итогового отчета по безопасности для Бушерской АЭС и определение масштаба влияния этой зависимости на пространственное распределение нейтронного поля и динамические характеристики ксеноновых процессов в активной зоне. Приведены результаты расчета параметров, контролирующую теплотехническую безопасность активной зоны, при выгорании топлива для обобщенной топливной загрузки реактора ВВЭР-1000 при переходе на полуторагодичный топливный цикл. В этой же работе помещены результаты численных исследований влияния проводимости газового зазора на динамические характеристики ксеноновых процессов в активной зоне. Данные результаты показали, что влияние зависимости проводимости газового зазора от выгорания на стационарные характеристики, в реальности, не велико. Однако, это влияние на параметры ксеноновых процессов довольно существенно, особенно для продленных топливных кампаний. В условиях реализации маневренных режимов, сопровождающихся ксеноновыми процессами в активной зоне, учет этой зависимости в инженерных кодах расчетной поддержки эксплуатации оборудования и ПМТ АЭС с ВВЭР-1000(1200), становится важным и актуальным. Исследования проводились на базе программного комплекса ПРОСТОР, используемого в

**Ядерная физика и технологии,**  
**теоретическая физика и астрофизика**

настоящее время в УТП Ново-Воронежской АЭС для проведения занятий с оперативным персоналом АЭС и их обучения оптимальным алгоритмам управления энергоблоком в маневренных режимах.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА  
ИЗОТОПОВ  $^{175}\text{Yb}$  И  $^{177}\text{Lu}$**

**Голубева К. В.<sup>1</sup>, Попов Ю. С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград  
+79021252647, ponakshinakov@yandex.ru

Основной целью научно-исследовательской работы является ознакомление с методами исследования ядерно-физических характеристик, определение интенсивности и периодов полураспада фотонов изотопов иттербия-175 и лютеция-177.

Для исследований были изготовлены источники в виде жидкого раствора объемом 1 мл в стеклянных пробирках и в геометрии ОСГИ на полиэтиленовых пленках с поверхностной плотностью ~ 10 мг·см<sup>-2</sup>. Источник представлял собой смесь изотопов  $^{169}\text{Yb}$ ,  $^{175}\text{Yb}$  и  $^{177}\text{Lu}$ , изотоп  $^{169}\text{Yb}$  с периодом полураспада 31,97 суток использовался в качестве репера для оценки нестабильности спектрометрического тракта.

Спектры  $\gamma$ -излучения измеряли с помощью полупроводникового Ge(Li)-детектора типа ДГДК-80А с энергетическим разрешением ~ 2 и 3 кэВ по гамма-линиям 122 кэВ  $^{57}\text{Co}$  и 661,7 кэВ  $^{137}\text{Cs}$  соответственно.

Определение периодов полураспада проводили по измерению площадей пиков гамма-излучения с энергиями 283 и 396 кэВ ( $^{175}\text{Yb}$ ); 113 и 208 кэВ ( $^{177}\text{Lu}$ ) в течение времени эксперимента.

Эффективность регистрации гамма-квантов определяли с помощью изотопов  $^{133}\text{Ba}$  и  $^{152}\text{Eu}$  из комплекта ОСГИ. Экспериментальная кривая эффективности регистрации гамма-квантов в диапазоне энергий 150-450 кэВ описывается уравнением:

$$\varepsilon = 0,1141 - \lg E, \quad (1)$$

где  $E$  – энергия гамма квантов, МэВ,  $\varepsilon$  - эффективность регистрации гамма-квантов, имп·квант<sup>-1</sup>.

Типичный спектр, полученный во время измерений на детекторе, показан на рисунке. Кроме пиков, относящихся к исследуемым изотопам, появились два пика, соответствующие пику характеристического излучения (ПХИ).

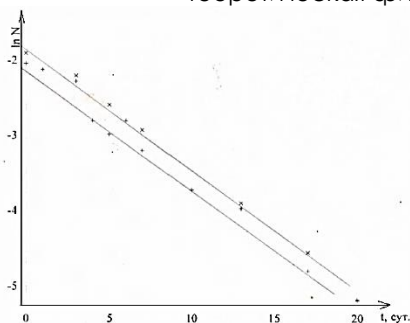


Рисунок. Расчетные прямые, наложенные на экспериментальные точки, соответственно для гамма-квантов  $^{177}\text{Lu}$  с энергиями 113 кэВ (сверху) и 208 кэВ (снизу)

Экспериментально полученные значения  $T_{1/2}$  и относительных интенсивностей  $\gamma$ -излучения представлены в таблице.

Таблица. Периоды полураспада и относительные интенсивности  $\gamma$ -излучений радионуклидов  $^{175}\text{Yb}$ ,  $^{177}\text{Lu}$

Нуклид, тип распада	$T_{1/2}$ ,сутки		$\gamma$ -излучение	
	Эксперимент	Оцененное	Энергия, кэВ	Относительная интенсивность
$^{175}\text{Yb}$ , $\beta^-$	99,6±0,04	100,4±0,02 [1, 2]	283	46,7±0,4
			396	100
$^{177}\text{Lu}$ , $\beta^-$	6,75±0,04	6,73±0,01 [1, 2]	113	60±2
			208	100

Сравнение результатов измерений периодов полураспада и интенсивностей гамма-излучения изотопов  $^{175}\text{Yb}$  и  $^{177}\text{Lu}$  с известными научными данными показывает хорошее совпадение в пределах указанных погрешностей. Это свидетельствует о чистоте исследуемых изотопов и правильности методики исследований.

#### Литература

1. Попов, Ю.С. Энергия и интенсивность гамма-излучения лантаноидов [Текст] / Ю.С. Попов // Справочник. – Димитровград: ФГУП ГНЦ РФ НИИАР, 1999.
2. Голашвили Т. В. Справочник нуклидов-2. М.: ФГУП ЦНИИ Атоминформ, 2002. - 260 с.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ПОТОКОВ  
НЕЙТРОНОВ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ СОБЫТИЙ В  
ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПАМЕЛА**

***Горячева В.С., Воронов С.А., Михайлов В.В.***

*Национальный исследовательский институт «МИФИ», Москва  
Тел: 8-915-336-21-03, mybox336@gmail.com*

В течение 10 лет с конца 23 цикла солнечной активности до минимума 24 цикла с помощью магнитного спектрометра ПАМЕЛА проводились непрерывные измерения потоков космических частиц. Спутник РЕСУРС-ДК1 с магнитным спектрометром ПАМЕЛА на борту был выведен 15 июня 2006 года на околополярную, эллиптическую орбиту высотой 350-610 км и наклоном  $70,4^\circ$  [1]. Нейтронный детектор спектрометра ПАМЕЛА [2], служащий для улучшения разделения регистрируемых в калориметре электронов и протонов, позволяя регистрировать и исследовать потоки нейтронов на орбите.

Во время мощных солнечных событий солнечные нейтроны могут достигнуть поверхности Земли. Такие нейтроны, благодаря своей нейтральности, летят по прямым траекториям, в отличие от заряженных частиц, и достигают Земли быстрее. Достигшие Земли нейтроны несут важную информацию о начале и месте инжекции частиц на Солнце, а также о процессах ускорения частиц, возникающих во время солнечных вспышек.

Фоновый канал нейтронного детектора обеспечивал непрерывный мониторинг потоков нейтронов в течение всего полета. При больших темпах счета возникали ошибки, связанные с переполнением памяти нейтронного детектора. Была разработана методика корректировки темпов счёта нейтронного детектора для снижения эффекта переполнения памяти, которая позволила уменьшить флуктуации темпов счета. Другой источник флуктуаций может быть связан с солнечной активностью, которая приводит к изменениям темпов счёта нейтронного детектора. Для изучения эффекта этих изменений был проведён анализ широтных зависимостей темпов счёта нейтронного детектора для различных интервалов жесткости геомагнитного обреза  $R$  в период с 2006

по 2016 год. Интервалы по жесткости геомагнитного обрезания соответствовали 0 – 1, 1 – 2, 10 – 15 ГВ, что позволило сравнить потоки в экваториальной и полярных областях. Анализ выявил наличие вариаций, которые коррелируют с показаниями наземной установки, проводящей мониторинг высокоэнергетического космического излучения – нейтронным монитором, расположенным на полярной станции Оулу (Финляндия).

Проведен анализ темпов счета нейтронного детектора для 29 солнечных вспышек, в которых возможна генерация нейтронов на Солнце. Заметного превышения ( $> 2\%$ ) над темпом счета фонового канала нейтронного детектора обнаружено не было. Тем не менее, эти временные зависимости, полученные во время солнечно-протонных событий, выявили ряд особенностей, которые требуют дальнейшего анализа.

#### Литература

1. O. Adriani; G.C. Barbarino; G.A. Bazilevskaya//Physics Reports, 544, 4, 323-370 (2014)
2. Y. Stozhkov, et al.//Int. J. Modern Phys. A 20 (2005) 6745.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## **ИЗУЧЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ МЯСА И МОЛОКА В МОНГОЛИИ**

**Даваадорж Ш., Удалова А.А.**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва  
+7(985) 835 83 06, shinetsetseg8503@gmail.com*

Актуальность радиоэкологических исследований связана с присутствием в окружающей среде естественной радиоактивности и искусственных изотопов [1], которые сегодня нашли применение во многих областях деятельности человека. Для Монголии характерны природные особенности, обуславливающие значимость изучения уровней радиационного воздействия [2]. Мясо, молоко, мука и все другие продукты питания импортируются в другие страны. В тоже время, отсутствует действующий национальный стандарт для продуктов питания, в частности, для мясных и молочных продуктов местного производства [3].

В настоящей работе определяли уровни содержания естественного радионуклида  $^{40}\text{K}$  в продуктах мясо-молочного животноводства. Отбирали образцы мышечной ткани (говядина, свинина, баранина, козлятина, конина, курица) массой 0,5 кг, измельчали и доводили до сухого состояния при высокой температуре в течение 24 час. Подготовленные образцы мяса помещали в сосуды Маринелли объемом 0,2 л, молока – 0,5 л. Общее количество проанализированных проб молока – 91, мяса – 859. Измерения удельной активности проводили с помощью гамма-спектрометра GEM 40-PLUS (Canberra, США) с высокочистым германиевым полупроводниковым детектором и многоканальным анализатором GEM 40-Plus 4096. Для обработки данных спектрометрических измерений использовали программный комплекс Geine-2000.

Полученные данные измерений удельной активности  $^{40}\text{K}$  в разных видах мяса и молоке представлены в таблице 1. Количественных измерений содержания других естественных радионуклидов (уран, торий), а также радионуклидов искусственного происхождения не было получено. Из

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

представленных данных видно, что различия по содержанию  $^{40}\text{K}$  в образцах мяса разного вида, произведенного в Монголии, являются незначительными. Содержание радиоактивного изотопа  $^{40}\text{K}$  в монгольском молоке было в несколько раз ниже, чем в монгольском мясе. Если сравнивать монгольское и импортное мясо, то в первом случае удельные активности приблизительно в 2 раза выше.

Таблица 1. Удельная активность  $^{40}\text{K}$  в мясе и молоке

№	Название продукта	Число проб	Удельная активность, $^{40}\text{K}$ , Бк/кг	Название продукта	Число проб	Удельная активность, $^{40}\text{K}$ , Бк/кг
	Производитель: Монголия			Импортные продукты		
1	Говядина	130	154.7±11.5	Говядина	26	68.1±8.5
2	Баранина	124	198.3±11.2	Баранина	39	54.9±9.7
3	Козлятина	152	118.1±13.0	Свинина	116	86.3±6.4
4	Конина	60	201.6±9.7	Курица	207	90.8±7.5
5	Молоко	91	64.1±6.2	-	-	-

### Литература

1. Natural and induced radioactivity in food. IAEA TECDOC 1287. IAEA, VIENNA, 2002. 137 p.

2. Цийрэгзэн.Ж, Амгалан.Ж, Бүрэнжаргал.С. Мах сүүнд мал эмнэлэг ариун цэврийн цацрагийн хяналт хийсэн ажлын дүнгээс (Результаты ветеринарных наблюдений и радиационного контроля мяса и молочных продуктов). Эрдэм шинжилгээний бүтээл №6 (ХААИС) УБ, 2002, хуу. 113-117.

3. Бадрахзул.Ч, Шинэцэцэг.Д. Монгол малын мах сүүний судалгаа (Исследование мяса и молока) (УМЭАЦГЛ) УБ, 2013,



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ОТ ПУЧКОВ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Данилова Д.К.<sup>1,2</sup>, Тищенко А.А.<sup>1,2</sup>, Стриханов М.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,  
Москва

<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт», Москва  
+79162968419, [dkdaniлова@mephi.ru](mailto:dkdaniлова@mephi.ru)

В настоящее время всё чаще переходят от использования длинных электронных сгустков к коротким. Чем короче электронный сгусток, тем более короткий выброс излучения он сможет дать. Сверхкороткие вспышки электромагнитного излучения широко используются в нанотехнологиях, медицине, биологии. С другой стороны, сжатие сгустков ведет к увеличению роли взаимодействия электронов между собой, и в том числе к увеличению роли корреляций. В настоящем докладе мы исследуем эффекты корреляций между электронами в излучении, так как ранее эти эффекты оставались за рамками исследований. В качестве конкретного примера вычисления проведены для параметрического рентгеновского излучения.

Была получена корреляционная часть бинарной функции распределения частиц в сгустке с помощью подхода, основанного на теории Дебая-Хюккеля [1]. Рассмотрено влияние корреляций на величину когерентной части форм-фактора пучка [2,3], получено, что вклад корреляционной части в величину когерентной части форм-фактора может достигать 15% при определенных условиях [1]. Было получено, что корреляции в пучке могут изменить положение длины волны, на которой когерентная часть излучения начинает превосходить некогерентную. Мы показали, что эффект корреляций может быть очень существенным: для пучков с равномерным распределением электронов эта длина волны изменяется на пять порядков при учёте корреляций, в то время, как для пучков с Гауссовым распределением эта длина волны изменяется на три порядка при учёте корреляций

**Работа поддержана ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.616.21.0088.**

Литература:

1. D.K. Danilova, A.A. Tishchenko, M.N. Strikhanov, Effects of correlation in transition radiation of super-short electron bunches, NIM B, **402**, p. 130-133, 2017.
2. Г.М. Гарибян, Ян Ши, Рентгеновское переходное излучение, АН АрмССР, Ереван, 1983.
3. M. Schuh, I. Birkel, A. Böhm, et.al. Status of FLUTE. Proceedings of IPAC2014, Dresden, Germany.

## **ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

***Ерофеев И.А., Крюков И.С., Савин В.И., Сурин В.И.***

*НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия*

Представлены результаты частотно-временного анализа сигналов электрофизического неразрушающего контроля сварных соединений приварки коллектора первого контура к корпусу парогенераторов ПГВ 1000.

Оконное преобразование Фурье получено с помощью «движущейся» по временной оси оконной функции [1,2]. Временной интервал измерений разбивается на несколько подинтервалов и преобразование выполняется последовательно для каждого из них. Таким образом осуществляется переход к частотно-временному представлению диагностической информации, при этом в пределах каждого подинтервала характер сигнала считается квазистационарным.

Результатом оконного преобразования является семейство спектров по интервалам сдвига окна преобразования. Это позволяет выделять на временной оси и анализировать особенности нестационарных сигналов, например, разрывы или сингулярности. Размер носителя оконной функции обычно устанавливается соизмеримым с интервалом стационарности сигнала. По сути, такая процедура позволяет разделить один нелокализованный базис на определенное количество базисов, локализованных в пределах функции носителя, что позволяет представлять результат преобразования в виде функции двух переменных – частоты и времени.

Результаты применения преобразования Гильберта-Хуанга представлены в двух последовательно произведенных действиях. На первом этапе анализируемый сигнал раскладывается по базисным или модовым функциям. В отличие от вейвлет-преобразования, модовые функции определяются с использованием адаптивного подхода и заранее неизвестны. После разложения сигнала по модовым функциям, производится анализ полученного

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
базиса, включающий получение мгновенных частот и  
гильбертового спектра сигнала [3]. Второй этап основан на  
использовании аппарата преобразования Гильберта.

Проведены результаты частотно-временного анализа сигналов,  
полученных в процессе неразрушающего контроля сварных  
соединений приварки коллектора первого контура к корпусу  
парогенераторов ПГВ 1000.

Дискретное преобразование Фурье, преобразование Гильберта-  
Хуанга и кепстральный анализ, использованные для разных  
структурных уровней сигнала, подтверждают наличие  
поверхностных несовершенств в сварных соединениях в широкой  
области низких частот.

#### Литература

1. Time frequency signal analysis and processing. Edited by  
B.Boashash.– ELSEVIER, 2003.– 744 p.
2. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. –  
670 с.
3. Ayenu-Prah A., Attoh-Okine N. A criterion for selecting relevant  
intrinsic mode functions in empirical mode decomposition // Advances  
in Adaptive Data Analysis. 2010. Vol. 2, №. 1. pp. 1–24.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И РЕСУРС  
ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРА ПИК ИЗ РАЗЛИЧНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ПО ПРОГРАММЕ ОБРАЗЦОВ-  
СВИДЕТЕЛЕЙ**

***Ефимов Е.И.<sup>1</sup>, Тебелев Л.Д.<sup>1</sup>, Фридман С.Р.<sup>2</sup>, Фирсов Г.А.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>ДИТИ НИЯУ МИФИ, Дмитровград*

*<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский Институт» - ПИЯФ, Гатчина  
89020065239, Dx2d@yandex.ru*

Нормативные документы [1,2] атомной энергетики предписывают подтверждать ресурс оборудования в соответствии с программой образцов-свидетелей. В ИР ПИК наиболее подверженными радиационному облучению являются корпус и экспериментальные каналы, в частности ЦЭК. В качестве материала для изготовления экспериментальных каналов ИР ПИК, выбраны сплавы алюминия АД1, АМг3, а также циркониевый сплав Э125. Корпус реактора изготовлен из стали аустенитного класса 08Х18Н10Т. Эти материалы допущены к применению в проекте ИР ПИК.

Однако, в настоящее время радиационная стойкость стали при флюенсах выше  $6 \times 10^{22}$  1/см<sup>2</sup> (E>0,1МэВ) и циркониевого сплава Э125 при флюенсах выше  $3,3 \times 10^{21}$  1/см<sup>2</sup> (E>1МэВ) при температурах ~100°С не изучена. Это обстоятельство ограничивает срок службы оборудования реактора.

Также НП-089-15 [2] предписывают разработать программу теплового старения для элементов реактора, изготовленных из алюминиевых сплавов.

Таким образом, в программе образцов-свидетелей реактора ПИК необходимо предусмотреть установку образцов, изготовленных из аустенитной стали 08Х18Н10Т, циркониевого сплава Э125 и алюминиевых сплавов АД1, АМг3. С помощью образцов необходимо контролировать основные характерные свойства этих материалов.

В докладе представлены основные положения разработанной типовой программы образцов-свидетелей, схемы загрузки образцов, типы образцов.

Исследования по программе образцов-свидетелей позволят получить данные для материалов и обосновать срок службы оборудования реактора, в частности, корпуса ПИК.01.000 и экспериментальных каналов реактора ПИК до 10 лет эксплуатации.

1. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ Г-7-008-89 (с изменениями). Госатомнадзор России. – М.: Энергоатомиздат, 2003 г. – 115 с.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок НП-089-15. – М.: Ростехнадзор, 2016 г. – 39 с.
3. Типовая программа «Исследование материалов корпуса ПИК.01.000 и внутрикорпусных элементов (Канал центральный ПИК.51.000 и ПИК.67.000) в процессе эксплуатации по образцам – свидетелям». 412.004 П – ПИЯФ РАН, ОАО «НИКИЭТ»: Гатчина, Москва, 2010 г. – 53 с.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА  
МАТЕРИАЛОВ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ РЕАКТОРОВ НА  
БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ**

***Ефремов В.В.<sup>1</sup>, Субботин С.А.<sup>1,2</sup>, Бландинский В.Ю.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
г. Москва*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
г. Москва*

*+7(925)789-35-70, VVEfremov@mephi.ru*

При прохождении ионизирующего излучения через твердое тело происходит передача энергии электронам и ядрам. В результате этого в нем возникают различные нарушения электронной и атомной структур. Радиационные дефекты в зависимости от их вида и количества существенно изменяют физико-механические свойства твердого тела. Характер радиационного повреждения определяется в первую очередь свойствами излучения, типом твердого тела, а также условиями облучения. Условия облучения влияют по-разному на различные стадии радиационного повреждения: например, энергия излучения влияет на стадии образования первично смещенных атомов и возникновения каскадов, температура облучения - на диффузионные процессы в каскадах и термический отжиг радиационных дефектов [1].

В настоящее время нет адекватного понимания механизмов значительного числа явлений и процессов, возникающих в металлах и сплавах под воздействием высокоэнергетического нейтронного облучения [2]. В связи с этим, необходимо провести оценку системных требований к материалам оболочек твэлов реакторов на быстрых нейтронах, в частности, по допустимому накоплению водорода и гелия, которые в значительной степени влияют на прочностные характеристики сталей и других конструкционных материалов под облучением [1]. Важно так же учитывать изменение нуклидного состава сталей под облучением, поскольку это не только приводит к изменению физических свойств сталей, но и влияет на допустимое время их облучения не только сточки зрения изменения прочностных свойств, но и решения проблем обращения с ними после облучения, в частности

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
проблемы хранения, возможности утилизации и рецикла  
конструкционных материалов.

Моделирование изменения состава и свойств конструкционных материалов под облучением является необходимым этапом разработки концепции конструирования реакторных материалов с заданными свойствами. Очевидно, что процесс конструирования новых реакторных материалов по заданным требованиям должен быть построен на основе использования современных методов и средств физических и химических исследований, базирующихся на использовании нейтронной и рентгеновской спектроскопии; современных методов мониторинга и контроля физического, термодинамического и химического состояния системы, а также методов компьютерного моделирования и численных экспериментов как наиболее эффективных инструментов исследования конденсированных сред.

В работе, для оптимальных параметров воспроизводства и загрузки топлива, выбранных на основе сценарного анализа развивающейся ИЯЭС России, рассчитываются такие параметры, как флюенс быстрых нейтронов и количество смещений на атом на оболочке твэлов, поглощение нейтронов материалом оболочек твэлов, изменение их нуклидного состава.

#### Литература

1. А.Н. Семенихин, Образование радиационных дефектов в твердых телах - Москва : МИФИ, 1987 г.;
2. А. И. Блохин, Ю. Н. Девятко, Н. А. Демин, В. Т. Заболотный, А. А. Плясов, В. М. Чернов, Методы расчета первичной повреждаемости конструкционных материалов ЯЭУ // ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА И ИНЖИНИРИНГ, 2010, том 1, № 5, с. 408–419.



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ЗАПУСК УЧАСТКА ПО СОЗДАНИЮ ДЕТЕКТОРОВ BULK  
MICROMEGAS НА БАЗЕ ОИЯИ**

**Завазиева Д.Т.<sup>1</sup>, Гонгадзе А.<sup>2</sup>, Минашвили И.<sup>2</sup>,  
Сотенский Р.В.<sup>2</sup>, Гонгадзе Л.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия  
+7 913 879 17 57, [zavazievadarina@mail.ru](mailto:zavazievadarina@mail.ru)*

Одним из приоритетных направлений в современной физике высоких энергий являются методические исследования в области детекторов ионизирующего излучения, в частности – газовых микроструктурных детекторов (MPGD). Детекторы типа Micromegas [1] (ММ) предназначены в первую очередь для использования в составе трековых детекторов и сочетают в себе наряду с высокими пространственным и временным разрешением низкую стоимость. Камеры типа ММ успешно используются в экспериментах COMPASS, T2K, CLAS12 [2]. Планируется их установка в наиболее загруженной части мюонного спектрометра ATLAS на Большом Адронном Коллайдере [3]. Они также могут иметь прикладное применение, например, [4].

На сегодняшний день полный цикл изготовления Bulk Micromegas [5] возможен лишь в двух лабораториях – в Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН) и CEA Saclay. Таким образом, актуальной задачей является создание нового производственного комплекса по изготовлению данного типа детекторов на базе ОИЯИ.

Целью настоящей работы является запуск участка по созданию камер Bulk Micromegas, который подразумевает настройку режимов оборудования, применяемого при изготовлении детекторов; подготовку первого тестового прототипа и исследование его характеристик.

1. Giomataris Y. et al. MICROMEAS: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators,

Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 1996. – Т. 376.  
– №. 1. – С. 29-35.

2. Gongadze A. L. Micromegas chambers for the experiment ATLAS at the LHC (A Brief Overview) //Physics of Particles and Nuclei. – 2016. – Т. 47. – №. 2. – С. 270-289.

3. Kawamoto T. et al. New small wheel technical design report. – 2013. – №. CERN-LHCC-2013-006.

4. Peyaud A. et al. The ForFire photodetector //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2015. – Т. 787. – С. 102-104.

5. Giomataris I. et al. Micromegas in a bulk //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2006. – Т. 560. – №. 2. – С. 405-408.

## ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И КРОВОТЫЕ НОРЫ С МАГНИТНЫМ И АНТИ-ДИЛАТОНЫМ ЗАРЯДАМИ

Захарова К.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский федеральный университет, Казань  
+79172856717, zahkristinochka@gmail.com

Низкоэнергетический предел теории струн может включать максвелловское или анти-максвелловское поле, скалярное дилатонное или анти-дилатонное поле. Известно, что решения, которые соответствуют электрически заряженным черным дырам, изменяются при наличии дилатонного поля. Такие решения были изучены, например в [1],[2]. Как известно, ведение в теорию скалярного поля с отрицательным кинетическим членом в лагранжиане (к этому случаю относится и анти-максвелловское поле) может приводить к появления в такой теории кротовых нор: топологических ручек, соединяющих удаленные области одной или различных вселенных. Такой случай рассматривался, например, в работах [3].

В работе в рамках теории Эйнштейна-анти-дилатона-Максвелла, описываемой в низкоэнергетическом пределе теории струн действием

$$S = -\frac{1}{16\pi} \int d^4x \sqrt{-g} [R + 2\varphi_{,k}\varphi^{,k} - e^{-2\varphi} F_{kl}F^{kl}],$$

найлены статические сферически симметричные асимптотически плоские решения. Эти решения определяются массой, электрическим и анти-дилатонным зарядами и в зависимости от величин этих зарядов разбиваются на пять типов:

- тип АI:  $Q_d^2 - M^2 + Q_e^2 < 0, M + Q_d \neq 0$ ;
- тип ВI:  $Q_d^2 - M^2 + Q_e^2 = 0, M + Q_d \neq 0$ ;
- тип ВII:  $Q_e = 0, M + Q_d = 0$ ;
- тип СI:  $Q_d^2 - M^2 + Q_e^2 > 0, M + Q_d \neq 0$ ;
- тип СII:  $Q_e \neq 0, M + Q_d = 0$ .

Тип А соответствует черным дырам с двумя горизонтами.

Тип В соответствует экстремальным черным дырам (два горизонта совпадают).

Тип С соответствует кротовым норам.

Примером экстремальной ( $2M = \pi|Q_e|$ ) кротовой норы типа СII является следующее решение исследуемой задачи

$$e^{2\varphi} = e^{\pi^2/4 - \eta^2},$$
$$ds^2 = -\frac{dt^2}{e^{\frac{\pi^2}{4} - \eta^2}} + e^{\frac{\pi^2}{4} - \eta^2} [dr^2 + (r^2 + Q_e^2)(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)],$$
$$F_{rt} = \frac{Q_e}{r^2 + Q_e^2},$$
$$Q_d = M = \frac{\pi}{2}|Q_e| \neq 0, \quad \eta = \arctan\left(\frac{r}{|Q_e|}\right).$$

### Литература

1. D. Garfinkle, G.T. Horowitz and A. Strominger. Charged black holes in string theory. Phys. Rev. Vol.43. P.3140 (1991).
2. G.W. Gibbons and K. Maeda. Black Holes and Membranes in Higher Dimensional Theories with Dilaton Fields. Nucl. Phys. B298 P.741 (1988).
3. Cl'ement G., Fabris J., Rodrigues M.. Phantom black holes in Einstein-Maxwell-Dilaton theory. Phys. Rev. Vol.79 P.064021 (2009)

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В  
МАГНИТНОМ АНАЛИЗАТОРЕ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ  
(МАВР)**

**Зернышкин В.А.<sup>1,2</sup>, Маслов В.А.<sup>2</sup>, Пенионжкевич Ю.Э.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *МИФИ, Национальный исследовательский ядерный университет,  
115409, Каширское шоссе- 31, Москва, Россия;*

<sup>2</sup> *Объединенный Институт Ядерных Исследований, 141980, Дубна,  
Россия*

*конт. тел. 89629286611, e-mail: [94zernyshkin@gmail.com](mailto:94zernyshkin@gmail.com)*

В настоящей работе представлены результаты моделирования траекторий движения заряженных частиц в магнитном анализаторе высокого разрешения (МАВР [1]), являющегося новой установкой для очищения продуктов ядерных реакций со стабильными и радиоактивными ядрами на ускорителе У400 ЛЯР ОИЯИ г.Дубна.

Анализатор создан на основе магнита спектрометра МСП-144[2]. Установка МАВР включает в себя усовершенствованную магнитно-оптическую систему на основе дублета квадрупольных линз, установленных перед магнитным спектрометром. Это позволяет увеличить телесный угол анализатора. Модернизированный магнитный анализатор обладает высоким импульсным разрешением ( $\Delta p/p \sim 10^{-4}$ ), большим углом поворота ( $111^\circ$ ) и длиной фокальной плоскостью (1.9 м). С помощью анализатора регистрируются продукты ядерных реакций с высоким разрешением по заряду ( $\Delta Z/Z \sim 1/60$ ), что особенно важно для разделения тяжелых продуктов ядерных реакций.

Расчет траекторий движения заряженных частиц выполнен в программе COSY INFINITY[3]. Был разработан программный комплекс, дающий возможности расчета фокальной плоскостью анализатора, подбора оптимальных полей квадрупольных магнитов, расчета телесного угла установки. На основе программ Excel и ORIGIN выполнена графическая интерпретация расчетов фокальной плоскости и положения экспериментальной частицы на этой плоскости.

Таким образом, разработанный программный может быть использован при подготовке и в ходе экспериментов на анализаторе (МАВР).

Анализатор (МАВР) можно использовать как на первичных пучках, так и на пучках радиоактивных ядер ускорительного комплекса DRIBs. Кроме этого, анализатор может быть использован непосредственно для измерения энергетических спектров продуктов реакций, а также в качестве монохроматора энергии при измерении сечений образования продуктов реакций со стабильными и, особенно, радиоактивными пучками в зависимости от энергии.

#### Литература

1. **Maslov V.A.**, Kazacha V.I., KoIesov I.V., Lukyanov S.M., Melnikov V.N., Osipov N.F., Penionzhkevich Yu.E., Skobelev N.K., Sobolev Yu.G., Voskoboinik E.I. // *Journal of Physics: Conference Series* 724, 2016, 012033.
2. Skobelev N.K. *et al.* // *Nucl. Instr. Meth.*, 2005, V.227, P. 471.
3. <http://www.cosyinfinity.org/>

## **НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКОГО ТОПЛИВА В РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

**Зорькин А.И.<sup>1</sup>, Беденко С.В.<sup>1</sup>, Украинец О.А.,<sup>1</sup> Кнышев В.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> «Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет»  
aizork1995@gmail.com

Одна из составных частей развития ядерной энергетики связана напрямую с эффективностью использования добываемого и нарабатываемого ядерного горючего. Направление, которое можно отнести к инновационным, связано с использованием керамического топлива дисперсионного типа с перспективными соединениями  $(Th,Pu)O_2$ ,  $(Th,Pu)C$ ,  $(Th,Pu)N$ . Актуальность смешанного торий-плутониевого топлива заключается в гораздо более высокой эффективности использования ядерного материала, также оно может служить источником пополнения запасов вторичного ядерного горючего [1–2]. Приведены результаты длительности топливной кампании для данных видов топлив, глубины выгорания и накопления  $U^{233}$ .

Целью работы являлось проведение сравнений перспективных керамических топливных композиций дисперсионного типа с точки зрения эффективности его применения в реакторной установке малой мощности.

### Литература

1. I. Shamanin, S. Bedenko, Y. Chertkov, I. Gubaydulin. Gas-Cooled Thorium Reactor with Fuel Block of the Unified Design// Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2015, Article ID 392721, 8 pages, doi:10.1155/2015/392721

2. Shamanin I. V. , Grachev V. M. , Chertkov Y. B. , Bedenko S. V. , Mendoza Quiroz O. -. , Knyshev V. V. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel // Annals of Nuclear Energy. - 2018 - Vol. 113. - p. 286-293

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ИСТОЧНИК УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ**

**Иванов А.В., Лямкин В.А.**

*ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград  
НИЦ «КИ» ПИЯФ, Гатчина  
+79278014487., [edvord-elric@yandex.ru](mailto:edvord-elric@yandex.ru)*

Несмотря на то, что технологии с далекого времени скакнули вперед, нам ещё неизвестна и часть общей картины мира. Фундаментальные взаимодействия элементарных частиц в данный момент успешно изучаются на ускорителях и коллайдерах, где рождение новых элементарных частиц при энергии вплоть до  $10^{13}$  эВ открывает новые горизонты в нашем понимании фундаментальных основ природы [1]. Такие направления, как астрофизика, космология, космические лучи, нейтринная физика исключительно глубоко дополняют общую картину мира и также связаны с фундаментальным взаимодействием элементарных частиц. Но существуют методы исследований обладающих высокой точностью, методы поиска малых отклонений от Стандартных законов физики, такие как исследования с ультрахолодными нейтронами (нейтронами с энергией порядка  $10^{-7}$  эВ) [2].

В настоящее время в ПИЯФ разработан проект источника ультрахолодных нейтронов (УХН) для реактора ВВР-М, схема которого представлена на рис. 1.

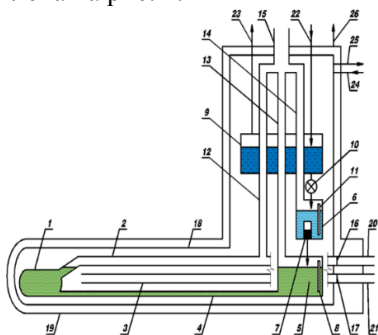


Рис. 1. Принципиальная схема источника УХН

Проект основан на использовании сверхтекучего гелия при производстве ультрахолодных нейтронов. Основная причина



научного интереса к УХН связана с изучением фундаментальных основ мироздания. Реализация проекта со сверхтекучим гелием на реакторе ВВР-М позволит сделать источник ультрахолодных нейтронов с интенсивностью на 2 порядка больше, чем на источнике УХН в международном нейтронном центре на реакторе ИЛЛ в Гренобле. Наличие тепловой колонны для создания источника УХН на реакторе ВВР-М позволяет оптимизировать задачу при температуре 1 К, что на порядок лучше, чем на реакторе ИЛЛ.

В настоящее время создана полномасштабная модель источника, которая включает в себя все необходимое криогенное и вакуумное оборудование: гелиевый ожижитель L-280, гелиевый рефрижератор TCF-50, вакуумная система откачки [3]. Режимы работы всего оборудования согласованы между собой, с целью получения сверхтекучего гелия и удержания сверхнизких температур при подводимой тепловой нагрузке. Также проведенные эксперименты на полномасштабной модели источника УХН показали реальные температуры сверхтекучего гелия при тепловой нагрузке вплоть до 60 Вт (наибольшая температура гелия составляет  $T=1,371$ ) в то время как расчетное значение тепловой нагрузки на реакторе ВВР-М оценивается в 35 Вт. Таким образом, запас мощности вакуумной системы откачки составляет более чем 200%. Даже при столь больших нагрузках на модель источника УХН, гелий продолжает оставаться в сверхтекучей фазе.

Это показывает, что низкотемпературный контур и новая тепловая колонна, которые будут частью полномасштабной модели источника УХН, считаются обоснованными и реализуемыми. Они станут новым витком экспериментальной части реактора ВВР-М и позволят проводить совершенно новые эксперименты, необходимые для современной фундаментальной физики и науки в целом.

#### Литература

1. Фомин А. К. Моделирование экспериментов с УХН в России. Препринт ПИЯФ (2010).
2. Zel'dovich Ya. B. Storage of Cold Neutrons. *JETP*. Vol.9. Issue 6. P. 1393 (1959).
3. Захаров А. А., Серебров А. П. Новый источник холодных и ультрахолодных нейтронов на реакторе ВВР-М. Низкотемпературная часть. Препринт ПИЯФ-2812 (2009).

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ПРОТЕКАЮЩЕЙ ВНЕ ТВЭЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА РЕАКТОРА ПИК ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ**

***Игаев А.Ю.<sup>1</sup>, Фирсов Г.А.<sup>1</sup>, Ефимов Е.И.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> ДИТИ НИЯУ МИФИ, Дмитровград  
89648562371, aleksandr-igaew@yandex.ru*

В 45 км к югу от Санкт-Петербурга и в 4 км от бывшей резиденции русских царей – города Гатчины – сооружается высокопоточный исследовательский реактор ПИК [1]. Реактор создается как мощный стационарный источник нейтронов [2]. В 2018 году в ПИЯФ им. Б.П.Константинова запланировано начало выполнения программы энергетического запуска реактора ПИК.

Конструкция активной зоны такова, что состоит из твэлов собранных в ТВС, при такой компоновке активной зоны, между кожухами ТВС образуется система зазоров. При этом значительная часть воды первого контура протекает по этим зазорам. Часть расхода воды первого контура протекает в центральной вставке. По этим причинам не весь расход первого контура участвует в охлаждении твэлов в ТВС.

Целью данной работы является оценка расхода протечек воды в активной зоне реактора ПИК помимо твэльного пространства. При определении скорости протекания воды в межтвэльном пространстве необходимо определить величину расхода воды, не участвующего в охлаждении твэлов. На рисунке 1 представлен поперечный разрез активной зоны.

Необходимые расчеты были выполнены аналитическим способом и с помощью программы SolidWorks Flow Simulation. Для программного расчета разработана 3D модель активной зоны реактора ПИК.

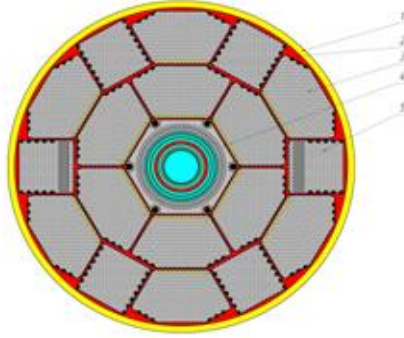


Рис.1. Поперечный разрез активной зоны реактора ПИК: 1–корпус; 2–система зазоров; 3–шестигранная ТВС; 4–центральная вставка; 5–квадратная ТВС с образцом–свидетелем корпуса.

На основе полученных результатов построена гидравлическая характеристика активной зоны реактора ПИК в рабочем диапазоне. По гидравлическим характеристикам активной зоны, можно определить скорость воды в твэльном пространстве.

По результатам расчета программы SolidWorks Flow Simulation доля протечек составила  $\approx 22,6\%$ , а при аналитическом способе расчета доля протечек составила  $\approx 21,8\%$ . Расхождение результатов составляет примерно  $4\%$ , что находится в пределах погрешности.

Таким образом, примерно пятая часть расхода воды I контура протекает мимо твэлов. Поэтому, с целью уточнения величины доли протечек, необходимо провести гидравлические измерения на реакторе ПИК.

#### Литература

1. Ерыкалов А.Н., Колесниченко О.А., Коноплев К.А. Реактор ПИК, Санкт – Петербург: Препринт ПИЯФ – 1784, 1992– 42 с.
2. А.Н. Ерыкалов, И.А. Кондуров, К.А. Коноплев и др. Экспериментальные возможности ПИК, Ленинград: Препринт ЛИЯФ – 852, 1987 – 24 с.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**РАСЧЕТ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ТВЭЛОВ РЕАКТОРА ПИК**

***Игаев А.Ю.<sup>1</sup>, Ефимов Е.И.<sup>1</sup>, Фирсов Г.А.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград  
89648562371, *aleksandr-igaew@yandex.ru*.

В настоящее время проводится подготовка к началу программы энергетического пуска реактора ПИК [1]. Реактор ПИК водородного типа, корпусной, под давлением, с компактной энергонапряжённой активной зоной, позволяющей достичь высокой плотности потока нейтронов в реакторе.

Для получения высокой плотности потока нейтронов необходимо, чтобы твэлы позволяли снимать высокую удельную мощность. Это обстоятельство предъявляет высокие требования к теплотехническим параметрам твэлов реактора ПИК.

Твэл реактора ПИК является модифицированным твэлом реактора СМ-3 и представляет собой стержень крестообразного сечения с диаметром 5,15 мм с топливом на основе диоксида урана, диспергированного в медно-бериллиевой матрице. Высота топливного слоя в твэлах составляет 500 мм. Он закручен вокруг оси с шагом 300 мм, чем обеспечивается самодистанционирование твэлов в кассете. На рисунке 1 представлен твэл реактора ПИК.

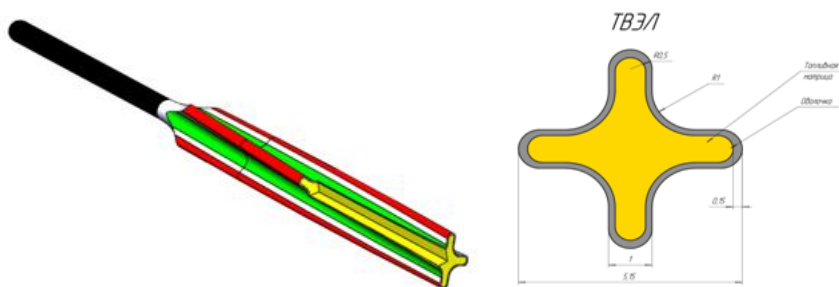


Рис.1. Твэл реактора ПИК

Для моделирования теплогидравлических процессов возможно применение специальных программных средств и расчётных моделей с проведением их предварительной верификации.

Теплогидравлический расчет является важным этапом подтверждения безопасного уровня мощности реактора, при котором не происходит разрушение твэла и сохраняется его работоспособность [2]. Основными параметрами, для безопасной эксплуатации реактора, является максимальная температура топлива, максимальная температура поверхности оболочки и максимальная плотность теплового потока с поверхности твэла.

Целью работы является проверка работоспособности расчётной модели при расчётах теплогидравлических характеристик в среде САПР SolidWorks Flow Simulation.

Для оценки теплогидравлических характеристик твэлов, с некоторыми допущениями, был выполнен расчёт пучка твэлов реактора ПИК с учётом теплообмена в теплоносителе. Расчет был выполнен, с учетом неравномерности энерговыделения по высоте твэла.

В работе приведены результаты расчётов в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation, показано что результат не противоречит экспериментальным данным [1] и существует запас до кризиса теплообмена между средой теплоносителя и оболочкой твэла.

Подводя итоги всему сказанному выше, можно сказать, что приведенные в работе расчеты носят оценочный характер и могут служить обоснованием для дальнейших исследований.

#### Литература

1. А.С. Захаров, К.А. Коноплев, М.С. Онегин. Эксперименты и расчеты для обоснования пусковых активных зон реактора ПИК. Материалы XL-XLI зимних школ. Физика и техника реакторов. Петербургский институт ядерной физики им. П.Б. Константинова, Санкт-Петербург, 2007. –с. 20–76.

2. П.Л. Кириллов, В.П. Бобков, А.В. Жуков, Ю.С. Юрьев. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике. – М.: ИздАт, 2010. –776 с.

**АНИЗОТРОПИЯ ПОТОКА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ  
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, ИЗМЕРЕННАЯ ПО ГРУППАМ  
МЮОНОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ  
НЕВОД**

**Ижбулякова З.Т.**

*НИЯУ МИФИ, НОЦ НЕВОД, Москва  
конт. тел. +79648354648, e-mail Izhbulykovazarina@yandex.ru*

Целью данной работы является поиск крупномасштабной дипольной анизотропии первичных космических лучей (ПКЛ) по данным координатно-трекового детектора ДЕКОР [1], входящего в состав уникальной научной установки «Экспериментальный комплекс НЕВОД». Изучение анизотропии ПКЛ направлено на решение ряда космологических и ядерно-физических проблем: выяснение характера движения релятивистских заряженных частиц в космическом пространстве, распределение их вероятных источников, понимание природы излома в спектре ПКЛ при энергии  $E > 10^{17}$  эВ.

В данной работе анизотропия потока ПКЛ высоких энергий исследуется по группам мюонов. Группой мюонов называется событие, вызванное одновременным (в пределах десятков наносекунд) прохождением через детектор генетически связанных мюонов. События регистрировались в период 2012-2017 гг. Пример зарегистрированного события с группой мюонов представлен на рис. 1.

Приведены описания методов обработки данных и учёта атмосферных эффектов [2]. Рассмотрены результаты анализа событий для групп мюонов двух выборок, соответствующих разным диапазонам энергий первичных частиц. К первой выборке относятся 7.75 млн. событий (1317 суток живого времени) с энергией  $E > 10^{15}$  эВ, ко второй – 50 тыс. событий (1249 суток живого времени) с энергией  $E > 10^{16}$  эВ. Получены фазы по прямому восхождению ( $\alpha$ ) и верхние ограничения дипольных амплитуд анизотропии для указанных двух выборок (рис. 2). В таблице 1 представлено сравнение характеристик анизотропии,

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
полученных в данной работе с результатами исследования на  
установке IceCube[3].

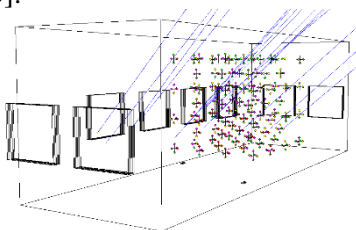


Рис. 1. Группа мюонов, зарегистрированная детектором ДЕКОР.

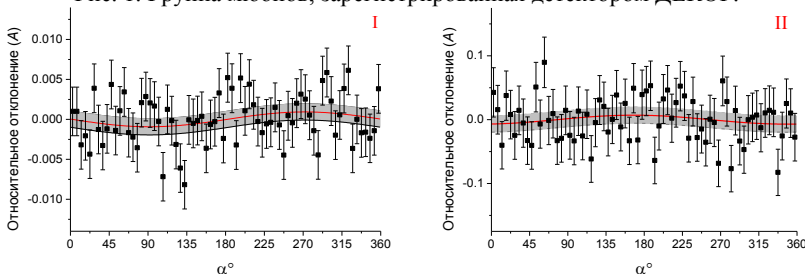


Рис. 2. Относительные отклонения числа зарегистрированных событий от ожидаемых в зависимости от угла  $\alpha$  и диапазон возможных амплитуд анизотропии (серым цветом) для событий двух выборок.

Табл.1 Сравнение результатов измерения дипольной анизотропии на установках ДЕКОР и IceCube .

	ДЕКОР, $E > 1$ ПэВ	IceCube, $E \sim 1.4$ ПэВ
фаза, градусы	$268 \pm 3$	$258 \pm 10$
амплитуда, $\times 10^{-4}$	$9.3 \pm 5.1$	$6.3 \pm 1.2$

Работа выполнена на уникальной научной установке «Экспериментальный комплекс НЕВОД» при поддержке гранта Президента РФ МК-2563.2017.2.

#### Литература

1. Барбашина Н.С. и др., Координатный детектор для исследования горизонтального потока космических лучей // ПТЭ. 2000. № 6. С. 20 – 24.
2. Kokoulin R.P. et al., Atmospheric effects in the intensity of muon bundles and geometrical mechanism of their formation // Journal of Physics: Conference Series. 675 (2016) 032034
3. Aartsen M.G. et al., Anisotropy in cosmic-ray arrival directions in the southern hemisphere based on six years of data from the IceCube detector // The Astrophysical Journal. 826, 220 (2016)

## **ПОИСК ОПТИЧЕСКИХ ВСПЫШЕК В КВАДРАТАХ ОШИБОК НЕЙТРИННЫХ И ГРАВИТАЦИОННО- ВОЛНОВЫХ АЛЕРТОВ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТЬЮ МАСТЕР**

**Ишмухаметова Ю.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Иркутский государственный университет, Иркутск  
+79148712046, sunny.rabinovich@mail.ru*

Работа посвящена наблюдению в оптическом диапазоне телескопами-роботами сети МАСТЕР квадратов ошибок нейтринной обсерватории IceCube и гравитационно-волновых обсерваторий LIGO, Virgo.

Мобильная астрономическая сеть телескопов-роботов (МАСТЕР) решает многие задачи современной астрофизики. В числе них поиск и исследование транзиентов в квадратах ошибок нейтринных и гравитационно-волновых обсерваторий. Результаты этих наблюдений, приведенные в работе, актуальны, во-первых, потому что оптические наблюдения таких событий пока не имеют большой статистики; во-вторых, телескопы сети МАСТЕР имеют большое преимущество в наблюдении коротких транзиентов из-за малого времени наведения; в-третьих, объекты, найденные с помощью телескопов сети, позволяют продвинуться в теоретических нейтринных и гравитационно-волновых исследованиях.

Проведен поиск возможных источников нейтрино сверхвысоких энергий в квадратах ошибок десяти алертов с Icescube. Стоит отметить, что в оптическом диапазоне эти наблюдения проводились впервые. В качестве источников предполагались: квазары, гамма-всплески, взрывы сверхновых. В этом поле было обнаружено 82 транзиента, в числе которых 27 квазаров, находящихся в спокойном состоянии. Также обнаружены объекты, числящиеся в каталоге переменных звезд AAVSO: 12 звезд типа UG, 15 типа UGSU (все это карликовые новые звезды), одна затменная звезда. Появление в квадратах ошибок и в близи них большого числа (даже большего, чем квазаров) переменных звезд заставляет задуматься, не могут ли они рождать потоки нейтрино сверхвысоких энергий. После открытия первого радиопульсара на



белом карлике ясно, что такие системы могут быть источниками релятивистских частиц [1]. А значит, в числе потенциальных источников нейтрино могут быть галактические звездные системы. В работе приведена оценка энергии, до которой пульсар на белом карлике способен разгонять частицы. Также показано, что поток релятивистских частиц от белого карлика в области 100 парсек соответствует потоку частиц от квазара. Разработана методология поиска пульсаров на белых карликах как источников нейтрино сверхвысоких энергий.

В работе также приведены результаты наблюдений гравитационно-волновых событий. С 2015 года сеть телескопов МАСТЕР инспектирует алерты от гравитационно-волновых обсерваторий. 17 августа 2017 года, в процессе инспекции гравитационно-волнового импульса, зарегистрированного антеннами LIGO и VIRGO [2], впервые в истории естествознания МАСТЕР обнаружил оптическую вспышку, сопровождающую столкновение двух нейтронных звезд. После нескольких часов инспекции поля в сто квадратных градусов телескоп МАСТЕР Аргентина получил первое изображение галактики NGC 4993 после слияния нейтронных звезд [3].

#### Литература

1. Marsh T. R. A radio-pulsing white dwarf binary star / T. R. Marsh et al. *Nature*. – 2016. – N 537. – P. 374–377
2. Abbott B.P. et al. GW170814: A Three-Detector Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Coalescence // *PHYSICAL REVIEW LETTERS*. 2017 vol.119 p.1-16
3. Lipunov V. M, E. Gorbovskoy, V. G. Kornilov et al. Master optical detection of the first ligo/virgo neutron star binary merger gw170817 // *Astrophysical Journal Letters*. 2017. Vol. 850, no. 1. — P. L1.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ НА УСТАНОВКЕ  
ИРЕН**

**Канагатова Г.К.<sup>1,2</sup>, Борзаков С.Б.<sup>1,2</sup>, Храшко К.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Университет «Дубна», Дубна, Россия

<sup>2</sup> ОИЯИ, Дубна, Россия

E-mail: [kanaatova.g@mail.ru](mailto:kanaatova.g@mail.ru) тел: 8-999-961-64-84

В связи с необходимостью проведения активационного анализа и измерения потока нейтронов на установках ИРЕН и ИБР-2М возникла задача более точного определения эффективных резонансных интегралов, учитывающего реальную зависимость плотности потока нейтронов от энергии, температуру и поглощение в образце.

Поток нейтронов на установке ИРЕН имеет следующие особенности: максимум интенсивности тепловых нейтронов соответствует энергии 40-50 мэВ и плотность потока резонансных нейтронов зависит от энергии нейтронов следующим образом:

$$\varphi(E_n) = \frac{\Phi_{res1}}{E_n^{1-\alpha}} \quad (1)$$

Где  $\alpha = 0.05 - 0.1$ ,  $\Phi_{res1}$  - величина плотности потока нейтронов при 1 эВ.

В качестве интегральной характеристики взаимодействия резонансных нейтронов с различными изотопами используется величина резонансного интеграла.

Полный резонансный интеграл равен сумме вкладов от отдельных резонансов и интегралу от части сечения, следующей закону  $1/v$ .

$$I_{eff.res} = I_v(\alpha) + \frac{\pi}{2} \sum \frac{\sigma_{0i} G_i}{E_{ri}^{1-\alpha}} \Gamma_{ri} \quad (3)$$

где  $G_i$  - фактор самопоглощения [1,2], эти факторы рассчитываются для каждого резонанса в отдельности. Параметры резонансов взяты из [3].

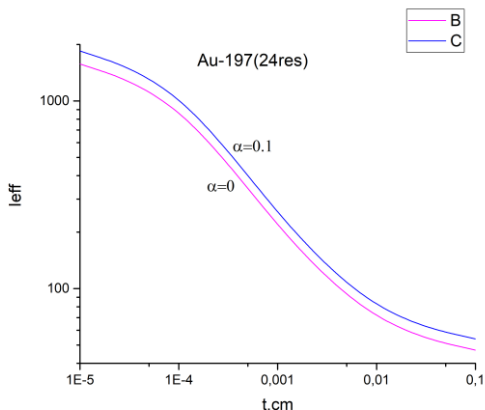


Рис. 1. Рассчитанные значения эффективного резонансного интеграла в зависимости от толщины фольги для различных значений параметра  $\alpha$ .

Была создана программа для вычисления эффективных резонансных интегралов, учитывающая реальную зависимость плотности потока от энергии, температуру и толщину образца (рис.1). При этом нет необходимости выделять вклад теплового сечения, а можно использовать представления об отрицательных резонансах, параметры которых также приведены в справочниках. С помощью этой программы были вычислены эффективные резонансные интегралы для  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{63}\text{Cu}$ , которые существенно отличаются от приведённых в справочнике.

Эти результаты применялись для более точного определения плотности потока нейтронов.

#### Литература

1. G.M. Roe, The Absorption of Neutron in Doppler Broadened Resonances, KAPL-1241, 1954.
2. H.T. Phuong et al., Applied Radiation and Isotopes, v. 68, p. 1177-1179, 2010.
3. S.I. Sukhoruchkin et al., Tables of Neutron Resonance Parameters, Landolt-Bornstein, Num. Data and Functional Relationships in Science and Technology, Group I, V. 16, subvolume B, ed. H. Schopper, Springer, 1998.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА  
С ПЛУТОНИЙ-ТОРИЕВЫМ ТОПЛИВОМ**

***Каражелевская Ю.Е., Левченко Ю.В., Терехова А.М., Зевякин А.С.***

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск  
8-980-710-76-78., karazhielievskaja@mail.ru*

Целью работы является обоснование безопасности конструкции серийного исследовательского реактора малой мощности, предназначенного для наработки радиоизотопной продукции, потенциально способной преодолеть порог коммерциализации. Тепловая мощность реактора - до 10 МВт. Реактор выполнен по схеме водо-водяного реактора с естественной циркулирующей теплоносителем [1].

В работе приведена информация о технических характеристиках систем, важных для безопасности, а также о нейтронно-физических и теплогидравлических характеристиках исследовательского ядерного реактора, включая данные о балансе реактивности, эффективности органов СУЗ, температурных и мощностных эффектах реактивности, максимальном запасе реактивности для критического состояния, максимальном коэффициенте размножения нейтронов для подкритического состояния [2].

**Исследование выполнено в рамках субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на выполнение государственных услуг тема № 00-г-995-2203.**

Литература

1. Y. Karazhielievskaja, D. Lazarenko, G. Lazarenko, Y. Levchenko, A. Terekhova, A. Zevyakin BOOK OF ABSTRACTS 2nd International Symposium on “Physics, Engineering and Technologies for Biomedicine” MOSCOW 2017, pp 248.
2. НП-049-03 Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности исследовательских ядерных установок

**НОВАЯ МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И  
ПОЗИТРОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАЛОРИМЕТРА  
СПЕКТРОМЕТРА «ПАМЕЛА»**

***Клейменова С.О.<sup>1</sup>, Михайлов В.В.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,  
115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31.  
89175267475, s.o.kleymenova@gmail.com*

ПАМЕЛА – международный космический эксперимент, в котором измерялись спектры частиц и античастиц космических лучей в диапазоне энергий от ~100МэВ до ~1ТэВ. Измерения проводились 10 лет, с Июня 2006 г. по Январь 2016 г. Прибор был снабжен тонким стриповым калориметром (16 X<sub>0</sub>), состоящим из 22 вольфрамовых пластин, каждая из которых расположены между двумя кремниевыми стриповыми плоскостями. Стрипы в соседних плоскостях ориентированы перпендикулярно друг к другу.

Эффективность магнитного спектрометра снижалась во время работы прибора, в то время как стриповый калориметр [1] работал стабильно. Таким образом, для увеличения статистики и улучшения отбора электронов и позитронов высоких энергий (> 100 ГэВ) может использоваться информация с калориметра.

Целью работы было найти критерии идентификации частиц, используя преимущественно данные калориметра. Это необходимо для того чтобы изучать вариации электронов и позитронов космических лучей в долгосрочном периоде измерений.

Новый метод разделения протонов и электронов основан на распределении сработавших стрипов в калориметре. Параметр отбора определяется как:

$$K = \frac{n - s}{n + s} \quad (1)$$

где n – число групп сработавших стрипов; s – число одиночных сработавших стрипов в событии. С помощью моделирования была определена зависимость этого параметра от энергии. Методом Монте-Карло [2] были промоделированы моноэнергетические пучки протонов и электронов в диапазоне энергий от 1 до 270 ГэВ.

Ниже, на рисунке 1 показано сравнение экспериментальных данных (черные квадратные точки), полученных за период с 2010

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
по 2015 год, прошедших базовый отбор и отбор по новому  
параметру, и опубликованных [3] данных (зеленые круглые точки),  
полученных за период с 2006 по 2009 год.

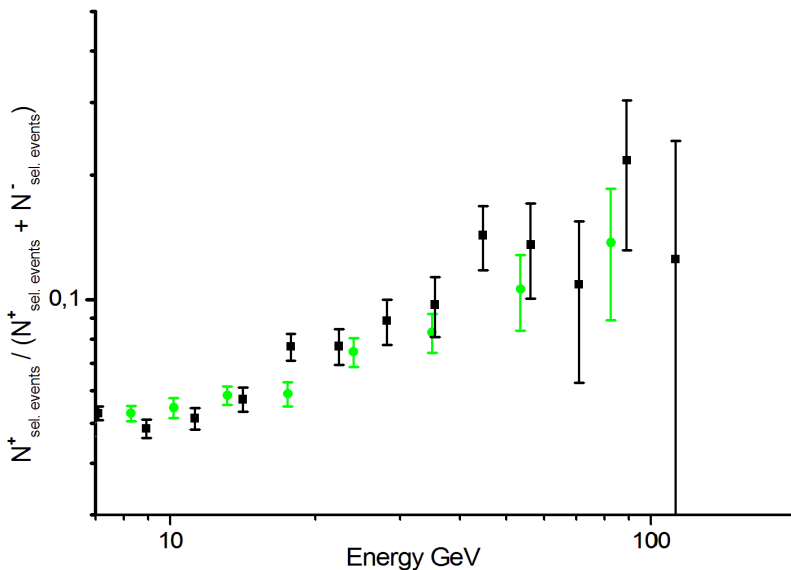


Рис.1. Отношение числа отобранных положительно заряженных частиц к общему числу отобранных положительно и отрицательно заряженных частиц как функция энергии

#### Литература

1. Adriani O et al. 2014 Physics Report 544 (4) 323-370
2. Picozza P et al. 2007 Astropart. Phys. 27 (4) 296-315
3. Adriani O et al. 2009 Nature 458 (7238) 607-609

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ТЕМПЕРАТУРА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИСПЕРСИОННОГО  
ТОРИЙСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА**

***Кнышев В.В., Шаманин И.В., Беденко С.В., Мендоса О.,  
Зорькин А.И., Украинец О.А.***

*ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск, Россия  
конт. тел., 8-952-161-99-97, e-mail: [yvk28@tpu.ru](mailto:yvk28@tpu.ru)*

На стадии разработки микротвэл (МТ) их характеристики, как плотность, толщина слоев, параметры микроструктуры и т.д., определяется с учетом специфики работы ядерного реактора [1].

В данной работе рассматривается дисперсионный топливный элемент [2] для маломощной реакторной установки типа ВТГРУ [3]. Главная особенность данной реакторной установки заключается в возможности производства высокотемпературного тепла для производства водорода [3].

В данной работе проведена оценка пространственного распределения температуры в топливной ячейке и МТ реактора типа ВТГРУ тепловой мощностью 60 МВт и температуре газового теплоносителя 1000 °С. Представлены результаты расчета термомеханического напряжения топливного элемента при длительном стационарном режиме работы.

#### Литература

1. Ю.Г. Дегальцев, Н.Н. Пономарев-Степной и В.Ф. Кузнецов. Поведение высокотемпературного ядерного топлива при облучении. (М: Энергоатомиздат, 1987)

2. И.В. Шаманин, Ю.Б. Чертков и С.В. Беденко. Ториевая реакторная установка малой мощности, работающая в сверхдлинной кампании. Известия вузов. Ядерная энергетика. №. 2. С. 121-132 (2016)

3. I.V. Shamanin, V.M. Grachev, Y.B. Chertkov, S.V. Bedenko, O. Mendoza Quiroz and V.V. Knyshev. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel. Annals of Nuclear Energy. Vol. 113. P. 286-293 (2018)

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК МИШЕНЕЙ ДЛЯ НАРАБОТКИ  
МОЛИБДЕНА**

**Колмыков В.Ю., Зевякин А.С., Фомин Р.В., Соболев А.В.**

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск  
8(920)894-96-64, shikarix.x@gmail.com*

С развитием ядерной медицины, потребность в радиоизотопах, используемых для лечения и диагностики онкологических заболеваний, увеличивается. Одной из важных задач является получение радионуклида медицинского назначения  $^{99}\text{Mo}$ . Необходимо смоделировать конструкцию мишени для наработки данного изотопа с максимально возможным количеством топлива и исключаящую кипение теплоносителя в канале.

Характеристики действующей мишени для наработки молибдена были предоставлены в работе [1]. В данной модели типа «труба в трубе» не была использована ее центральная часть, поэтому с целью более полного заполнения пространства трубы была рассмотрена мишень с центральным сердечником, модель которой показана на Рисунке 1.

Энерговыделение в обеих мишенях найдено в результате нейтронно-физического расчета, выполненного с помощью расчетного кода, реализующего метод Монте-Карло. Теплогидравлический расчет модернизированной модели выполнен методом конечных объемов с помощью программного комплекса ANSYS CFX.

Результаты расчета показали, что по сравнению с предыдущей версией мишени [2], энерговыделение и количество топлива уменьшилось. Результаты расчета предоставлены в Таблице 1. Однако, также в канале уменьшилась температура теплоносителя, что предоставляет возможность увеличить количество загружаемого топлива в мишени.



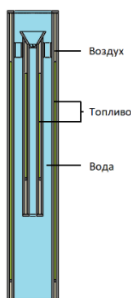


Рис.1. Модель модернизированной мишени для наработки  $^{99}\text{Mo}$

Таблица 1. Сравнение температурных характеристик мишеней

	Действующая мишень	Модернизированная мишень
Суммарное энерговыделение	50,2 кВт	46,1 кВт
Средняя температура теплоносителя на выходе из исследовательского канала	71,8 °С	70,7 °С
Максимальная температура теплоносителя	96,3 °С	91,8 °С

### Литература

1. В.В. Колесов, О.Ю. Кочнов, Р.В. Фомин. Оценка увеличения производства  $^{99}\text{Mo}$  при различных компоновках активной зоны на реакторе ВВР-ц. //Ядерная энергетика. Известия вузов. №1. (М: 2013).

2. Р.В. Фомин, А.С. Зевякин, В.В. Колесов, А.В. Соболев, О.Ю. Кочнов. Модернизация мишеней для наработки молибдена. //Инновации в атомной энергетике. Сборник докладов. (М: НИКИЭТ. 2017).

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СРОКА  
ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА  
МЕХАНИЗМОВ СТАРЕНИЯ И ВЛИЯНИЕ УПРАВЛЕНИЯ  
СТАРЕНИЕМ НА РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ЭЛЕМЕНТОВ АЭС**

***Королев М.Ю.<sup>1,2</sup>, Свириденко Ю.В.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва*

<sup>2</sup> *АО «Русатом Сервис», Москва  
+7(926)263-18-40, mak-korolyo@yandex.ru*

В настоящее время в эксплуатации находится 270 блоков, возраст которых более 30 лет, что составляет 60% от общего числа эксплуатирующихся в мире блоков (448) [1]. В России 25 из 35 блоков – 70% – старше 30 лет [2].

Все больше эксплуатирующих организаций ориентируются сегодня на продление проектного срока службы АЭС. В США, например, к концу 2017 года около половины действующих блоков были продлены или находились в процессе продления лицензии на эксплуатацию с 40 до 60 лет [3]. Продление срока эксплуатации (далее – ПСЭ) энергоблоков АЭС с каждым годом становится всё более актуальной задачей, поэтому процедуры и механизмы ПСЭ должны быть четко определены и закреплены на законодательном уровне, а также должны соответствовать всем государственным и международным требованиям в области атомной энергетики.

Для обеспечения ПСЭ энергоблоков АЭС необходимо наличие норм, требований, стандартов и правил, охватывающих все аспекты ПСЭ и подготовки к нему, которое на сегодняшний день обеспечивается государственными министерствами и ведомствами, регулирующими нормативную базу на все виды работ, входящих в ПСЭ. Также необходима полная техническая информация, охватывающая весь период эксплуатации АЭС и наиболее полно отражающая текущее состояние конструкций, систем, элементов и АЭС в целом. Актуализация и содержание базы технического состояния обеспечивается сегодня эксплуатирующей организацией АЭС.

Кроме того, двумя немаловажными факторами, оказывающими влияние на эффективность ПСЭ, на сегодняшний день являются управление старением АЭС и, непосредственно, дополнительный срок эксплуатации (далее – ДСЭ).

Управление старением включает в себя комплекс организационных и технических мероприятий и процедур, направленных на выполнение требований к надежности элементов энергоблоков АЭС с учетом всех изменений, происходящих в период эксплуатации. Руководство МАГАТЭ по управлению старением на данный момент носит рекомендательный характер, однако реализация данного метода способствует повышению безопасности АЭС, позволяет сократить количество работ и, как следствие, уменьшить затраты при проведении ПСЭ [4].

В настоящее время ДСЭ устанавливается эксплуатирующей организацией АЭС, и все последующие расчеты и обоснования возможности ПСЭ основываются на установленном сроке [5]. В данной работе рассматривается альтернативный вариант ПСЭ АЭС, в котором ДСЭ рассчитывается, исходя из текущих технических характеристик и истории эксплуатации АЭС. Рассмотрение процесса ПСЭ в данной парадигме может позволить не только увеличить ДСЭ АЭС в несколько раз, но и существенно снизить материальные затраты за счет уменьшения количества проектов по ПСЭ АЭС.

#### Литература

1. IAEA Annual Report 2016 / International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre, Vienna, Austria, 2017 – 149 с.
2. Power Reactor Information System of the IAEA: Country Statistics. Russian Federation.
3. U.S. Nuclear Regulatory Commission 2017-2018 Information Digest. NUREG-1350, Volume 29 / U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2017 – 191 с.
4. Нормы МАГАТЭ по безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды. Управление старением атомных электростанций. Руководство по безопасности № NS-G-2.12 / Международное агентство по атомной энергии, Вена, Австрия, 2014 – 54 с.
5. НП-017-2000 Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

*Кудрявцева А.С., Годес А.И.*

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Россия  
8(920)8921811, ann.5515.kudryavtzeva@mail.ru*

Актуальным направлением развития современной квантовой физики является изучение поведения квантовых систем во внешних силовых полях. При исследовании неизолированных нестабильных систем наблюдаемые параметры могут отличаться от соответствующих параметров для их возбуждения и распада в вакууме [1]. Выясняется, что подобные эффекты можно наблюдать в ядерных реакциях.

Для задач термоядерного синтеза и мюонного катализа рассматривается реакция в смеси дейтерия и трития  $d + t \rightarrow \alpha + n + 17.59\text{МэВ}$  с целью уточнения характеристик распада второго возбуждённого состояния ядра  ${}^3\text{He}$ . Сечение реакции было измерено с высокой точностью и были разработаны различные параметризации. Найдено местоположение резонансного полюса, отвечающего второму возбужденному состоянию ядра гелия, а также других особенностей многочастичной функции Грина с помощью приближения эффективного радиуса и резонансной модели связанных каналов.

В приближении эффективного радиуса местоположение резонансного полюса  $S$ -матрицы рассеяния определяется нулями аналитического продолжения знаменателя элемента  $S$ -матрицы на нефизический лист энергий (или волновых чисел) [3]. Решая уравнение, пригодное для нахождения полюсов, получаем значения  $k_1 = 1,36$ ,  $k_2 = 0.47$  для резонансного полюса и  $k_1 = -1.603$ ,  $k_2 = 0.153$  для теневого, которые используем для нахождения энергии резонанса и ширины резонансной кривой. В итоге параметрами модели связанных каналов являются величины  $E_0$ ,  $\gamma$ ,  $\Gamma_2$  и  $\beta$ .

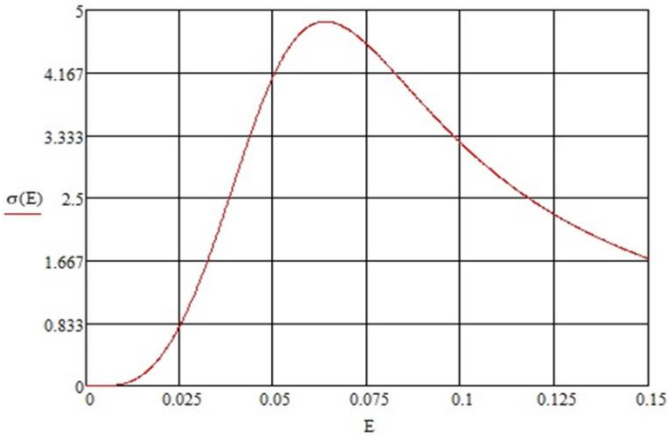


Рис.1 Сечение реакции  $d t \rightarrow \alpha n$  с помощью формулы параметризации

Целью работы является сопоставление между параметрами обеих моделей, описание процесса  $\alpha \rightarrow n$  вблизи энергии термоядерного резонанса ядра  ${}^5\text{He}$  с помощью аналитического продолжения процесса  $d \rightarrow t$ .

#### Литература

- 1) Д. Блан. Ядра, частицы, ядерные реакторы. (М.: Мир, 1989. - 335 с.)
- 2) В.В. Комаров, А.М. Попова, В.Л. Шаблов. Динамика систем нескольких квантовых частиц. (М.: Мир, 1996. - с. 255-265)
- 3) L.N. Bogdanova, G.M. Hale, V.E. Markushin. Analytical structure of S-matrix for the coupled channel problem  $d+t \rightarrow n+\alpha$  and the interpretation of the  $J^\pi = (\frac{3}{2})^+$  resonance in the  ${}^5\text{He}$  // *Phys. Rev.* -v.44. -n.4. -p. 1289-1295 (1991).
- 4) Б.М. Карнаков, В.Д. Мур, С.Г. Поздняков, В.С. Попов. Аналитическая структура амплитуды  $dt$ - рассеяния вблизи упругого порога. // *Письма в ЖЭТФ.* -т. 51. -вып. 7. -с. 352-355 (1990).

## **ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКОГО ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ОТ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ**

***Кузьменков Д.М., Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва +7 (963) 619-97-60, dmitrii.kuzmenkov@mail.ru*

При эксплуатации теплообменного оборудования важно не допустить возникновения кризиса пузырькового кипения, приводящего к существенному росту температуры теплоотдающей поверхности. Общепринятым подходом для обеспечения нормальной работы теплообменного оборудования является ограничение максимального теплового потока  $q$ , отводимого в жидкость, величиной первого критического теплового потока  $q_{кр1}$ . Однако, для некоторых жидкостей (азот, фреоны и т.д.) при нестационарном подводе тепла кризис может происходить при существенно меньших тепловых потоках [1]. В данной работе представлены новые данные по исследованию зависимости критического теплового потока от темпа нарастания тепловыделения в жидком азоте при атмосферном давлении.

На основе теоретического исследования условий наступления кризиса теплоотдачи при нестационарном подводе тепла [2] авторами была разработана модель расчета величины нестационарного критического теплового потока  $q_{кр}$  в зависимости от скорости изменения тепловыделения в жидкость  $\omega = \langle dq / d\tau \rangle$ . В случае степенного закона возрастания отводимого в жидкость теплового потока  $q(\tau) = C\tau^m$  ( $m \geq 0$ ), зависимость  $q_{кр}(\omega)$  можно описать формулой (1). Важно отметить, что наименьшее значение критического теплового потока достигается при скорости изменения  $\omega_{гр}$ , при этом значение теплового потока не зависит от показателя степени  $m$  и равна величине минимального нестационарного критического теплового потока  $q_{кр.мин}$  [2].

$$q_{кр}(\omega, m) = \begin{cases} q_{кр1}, & \omega < \omega_{кр}(m) \\ \left( \frac{2 \cdot \omega \cdot \lambda^2 \cdot \Delta T_{пр}^2 \cdot (m+1)}{3a} \right)^{\frac{1}{3}}, & \omega \geq \omega_{кр}(m) \end{cases}, \quad (1)$$

$$\omega_{кр}(m) = \frac{2}{m+1} \frac{6 \cdot \lambda \cdot \Delta T_{пр}^2 \cdot g \cdot \beta}{\nu \cdot Ra_{кр}}, q_{кр,мин} = \frac{2}{Ra_{кр}^{1/3}} \cdot \left( \frac{\lambda^3 \cdot \Delta T_{пр}^2 \cdot g \cdot \beta}{\nu \cdot a} \right)^{1/3},$$

где  $\Delta T_{пр}$  - предельный перегрев,  $Ra_{кр}$  – критическое число Рэлея,  $\lambda$ ,  $a$ ,  $\beta$ ,  $\nu$  – коэффициенты теплопроводности, температуропроводности, объемного расширения и вязкость жидкости соответственно. На рис. 1 показан график зависимости  $q_{кр}(\omega, m)$ . Все экспериментальные результаты и расчёты получены при  $m \approx 6$ .

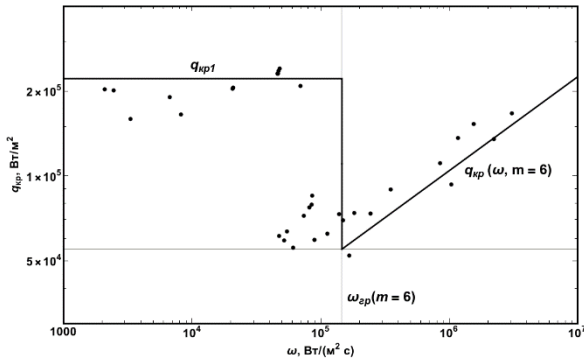


Рис.1. Зависимость критического теплового потока от темпа нарастания тепловыделения (точки – экспериментальные данные)

Как видно из графика, расчет по модели хорошо согласуется с полученными авторами экспериментальными данными.

Работа выполнена за счет гранта РФФИ (проект №16-19-10548).

#### Литература

1. Павленко А.Н. Кризис теплоотдачи при нестационарном тепловыделении и динамика смены режимов кипения в большом объеме криогенной жидкости: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 1990.
2. B.V. Balakin, M.I. Delov, D.M. Kuzmenkov, K.V. Kutsenko, A.A. Lavrukhin, A.S. Marchenko, Boiling crisis in cryogenic fluids during unsteady heat supply // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2017, Vol. 111, pp.1107-1111.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## ПОИСК МАССИВНЫХ НЕЙТРИНО В ЭКСПЕРИМЕНТЕ NA62 (CERN)

Курочка В. Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИЯИ РАН, Москва  
89067663702, [likhacheva@inr.ru](mailto:likhacheva@inr.ru)

Обнаруженные осцилляции нейтрино свидетельствуют о том, что Стандартная Модель (СМ) элементарных частиц не является полной. Но пока неизвестны свойства частиц, которые скрываются за этим явлением. В некоторых расширениях СМ естественным образом вводятся массивные стерильные нейтрино (нейтральные лептоны). Например, в Нейтринной Минимальной Стандартной Модели ( $\nu$ MSM) [1] постулируется существование трех правых массивных стерильных нейтрино. Самое легкое из них с массой около 10 кэВ является кандидатом на роль частицы темной материи. Два других нейтральных фермиона с массами в широком интервале от 150 МэВ до 100 ГэВ позволяют объяснить ненулевую массу активных нейтрино и барионную асимметрию Вселенной.

Поиск массивных стерильных нейтрино (нейтральных лептонов),  $N$ , выполнен в эксперименте NA62 (CERN), основной целью которого является измерение с точностью около 10% вероятности редкого распада  $K^+ \rightarrow l^+ N^+ (l = e^+, \mu^+)$ . Измерение этого распада, который рассчитан с высокой точностью в СМ, является чувствительным тестом различных расширений СМ.

Поиск массивных нейтрино в эксперименте NA62 осуществляется при измерении распадов на один заряженный лептон (мюон или электрон) положительных каонов с импульсом 75 ГэВ/с на лету.

В докладе будет кратко описана установка NA62 и ее параметры. Будут разобраны методы моделирования распадов каонов, и изложены критерии отбора событий  $K^+ \rightarrow l^+ N^+$ ; рассмотрены методы анализа экспериментальных данных по поиску стерильных нейтрино, проанализированы основные источники фона и приведены их величины. В докладе будут представлены новые результаты: ограничения на уровне  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  на параметры смешивания стерильных нейтрино  $|U_{e4}|^2$  в диапазоне



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
масс 170-450 МэВ и  $|U_{\mu 4}|^2$  в диапазоне масс 240-370 МэВ [2],  
полученные на основе данных, накопленных в 2015 году. Также  
будут обсуждаться дальнейшие перспективы по поиску стерильных  
нейтрино в эксперименте NA62.

Литература:

1. A. Boyarsky, O. Ruchayskiy and M. Shaposhnikov, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 59 (2009) 191, arXiv:0901.0011 [hep-ph].
2. E. Cortina Gil et al. (The NA62 Collaboration), Search for heavy neutral lepton production in  $K^+$  decays, arXiv:1712.00297v1 [hep-ex].

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ДЛЯ НАРАБОТКИ  
ИЗОТОПОВ**

*Левченко Ю.В., Каражелевская Ю.Е., Терехова А.М.,  
Зевякин А.С., Лазаренко Г.Э*

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск  
89190372554, levchenkoyul@mail.ru*

В связи с высокой стоимостью как постройки, так и эксплуатации исследовательских реакторов, они являются многоцелевыми установками. На них проводят исследования в области ядерной и нейтронной физики, физики твердого тела, ядерной и радиационной химии, материаловедения, биологии, отработку конструкции узлов проектируемых энергетических реакторов, наработку химфампрепаратов и лечение пациентов методами нейтроно- и гамматерапии.

Разработанная конструкция реактора (рис.1) и его конструктивных элементов позволяет:

-использовать промышленно освоенную технологию изготовления топлива и ТВЭЛ;

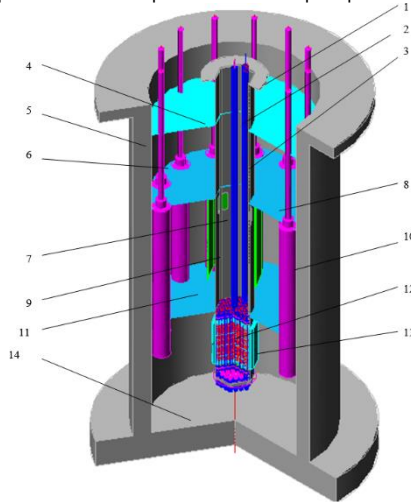
-отказаться от реализованного в ВВЭР-440 способа дистанционирования ТВС блоками прижимных труб, что сокращает материалоемкость реактора и объем захораниваемых радиоактивных материалов при выводе из эксплуатации;

-увеличение диаметра бака реактора позволяет снизить дозовую нагрузку на материал стенки бака, что допускает его переработку как обычного металлического лома после непродолжительной выдержки и отмывки.

-низкий уровень плотности энерговыделения в а.з. реактора позволяет увеличить продолжительность бесперегрузочной кампании, что существенно упрощает эксплуатацию и снижает эксплуатационные расходы

и др.

В качестве топлива предлагается использовать уран-ториевое топливо [1].



1-фланец корзины а.з., 2- центральный канал с тягами АР стенка корзины а.з., 3-надставка ТВС с ОР, 4- уровень воды в бассейне реактора, 5- стенка бассейна реактора, 6-трубопроводы вторичного теплоносителя, 7 перепускные отверстия, 8- верхний горизонтальный экран, 9- аксиальный опускной канал теплоносителя, 10-модуль теплообменника и ГЦН первого контура, 11- нижний горизонтальный экран, 12- а.з., 13- боковой отражатель (бериллий), 14- опорная плита фундамента атомного реактора

Рис.1 Компоновка. ядерного реактора

**Исследование выполнено в рамках субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на выполнение государственных услуг тема № 00-г-995-2203.**

Литература

1. Ю.В.Левченко, А.В. Зевяин, Ю.Е. Каражелевская, А.М. Терехова. Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции «Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2017». Обнинск, 2017. 25с.

## **ПРОБЛЕМЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРИЯ В РЕАКТОРЕ ТИПА ВВЭР В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЕ ЯЭ**

***Локтаев К.В.<sup>1</sup>, Бландинский В.Ю.<sup>2</sup>, Субботин С.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, Москва

<sup>2</sup> НИЦ «Курчатовский институт», Москва  
+7 999 921 70 20, loktaev@bk.ru

Масштабное использование редкоземельных материалов, добыча которых сопровождается извлечением тория из-за природных барьеров, привело к казалось бы преждевременному с точки зрения развития ядерной энергетики на уран–плутониевом топливном цикле процессу поиска эффективных способов вовлечения тория в ядерные технологии.

Практически каждый тип реактора в то или иное время изучался с точки зрения применения в нем ториевого топлива. В большей степени проблемы использования ториевого топлива изучены применительно к высокотемпературным (HTR), тяжеловодным (PHWR), жидкосолевым (MSR) и легководным (LWR) реакторам на тепловых нейтронах. В отчете МАГАТЭ [1] для максимального сценария развития АЭ рассмотрен вариант использования термоядерных источников нейтронов (ТИН) для наработки урана-233 в жидкотопливных ториевых бланкетах с глубоко подавленным делением (выведение протактиния-233 из бланкета и использование урана-233 при смешении его с ураном-238 или торием-232 для изготовления топлива для высокотемпературных и легководных реакторов).

Но поскольку масштабное использование возможно только в тех реакторах, которые уже получили достаточно широкое распространение (см.Рис.1), а именно реакторы типа PWR или ВВЭР, то необходимо в первую очередь исследовать возможность вовлечения тория в топливные циклы этих реакторов.

Известно, что уран-ториевый топливный цикл в реакторах на тепловых нейтронах в тепловом спектре дает примерно 0.2 «дополнительных» нейтрона (по сравнению с U-235 и Pu-239), которые можно использовать для повышения эффективности

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
топливного цикла. Но такой выигрыш не удастся реализовать при прямой замене уранового или уран-плутониевого топлива в реакторах ВВЭР на уран-ториевое топливо.

В данной работе проведен поиск топливной композиции и компоновки ТВС реактора типа ВВЭР с уран-ториевым топливом, которая позволяет принципиально повысить эффективность использования природного урана и тория в двухкомпонентной системе ядерной энергетики, в которой используются реакторы на быстрых нейтронах с ториевыми бланкетами для наработки урана 233 для реакторов ВВЭР, работающих на уран-ториевом топливе с пониженным обогащением и выгоранием топлива. Реализация уран-ториевого топливного цикла в тепловых реакторах позволит на порядок сократить генерацию минорных актинидов.

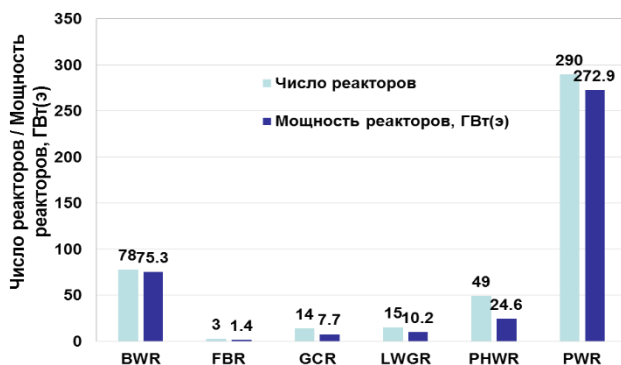


Рис. 1. Количество и мощность работающих в мире реакторов различного типа (по данным IAEA/PRIS на 1 марта 2017 г.)

### Литература

1. Nuclear Energy Development in the 21st Century: Global Scenarios and Regional Trends. IAEA No. NP-T-1.8 Vienna, 2010

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ПОЗИТРОНОВ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ**

Лукина С.С., Михайлов В.В., Леонов А.А.

*НИЯУ МИФИ, Москва  
конт. тел.: +79774605597  
e-mail: my.-pos-t@mail.ru*

Актуальной задачей на данный момент является получение зависимости отношения доли позитронов к суммарному потоку электронов и позитронов при высоких энергиях, выше 1 ТэВ, потому что позитроны могут быть образованы в результате аннигиляции частиц темной материи [1]. Этот диапазон не доступен для современных магнитных спектрометров, однако для магнитного анализа может быть использовано геомагнитное поле.

В работе [2] предлагается метод регистрации первичных космических электронов с энергией более 100 ГэВ. Метод основан на использовании синхротронного излучения в геомагнитном поле. В [2] показано, что, попадая в детектор, фотоны образуют вместе с электроном одну прямую, регистрируя которую можно идентифицировать электрон. Электроны и позитроны будут располагаться по разные стороны от точек регистрации фотонов, поэтому используя позиционно-чувствительный калориметр для регистрации электронов и позитронов, можно определить и знак заряда частиц. Данный эксперимент необходимо проводить на космическом аппарате за пределами атмосферы (на высоте ~400 км.) для уменьшения фона, который не позволил получить положительный результат в эксперименте CREST [3].

Цель: изучение возможности регистрации позитронов высокоэнергичных космических лучей посредством магнитного поля Земли с использованием синхротронного детектора и позиционно-чувствительного калориметра.

Для проведения работы была усовершенствована программа моделирования движения электронов (позитронов) и синхротронных фотонов в магнитосфере Земли. Для моделирования прохождения частиц через калориметр применено

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
программное обеспечение, реализующее модель Монте-Карло в  
среде GEANT 4.

Моделировались различные расположения детектора на орбите. При экваториальном положении детектора были получены распределения по зенитному и азимутальному углам прилета для позитронов и электронов различных энергий.

Рисунок 1 показывает, что возможно еще разделять позитроны и электроны высоких энергий вплоть до 200 ГэВ, применяя только позиционно- чувствительный электромагнитный калориметр.

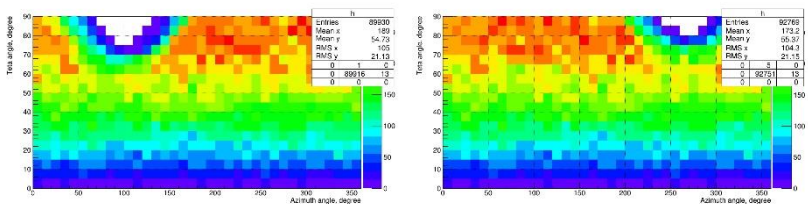


Рис.1. Распределение по зенитному и азимутальному углам прилета позитрона (слева) и электрона (справа) с энергией 100 ГэВ.

С помощью модели Монте-Карла для установки оценены углы прилета регистрируемых частиц. Синхротронное излучение промоделировано для энергий электронов от 1 до 10 ТэВ. Показано, синхротронный детектор диаметром  $\sim 2$  м. может регистрировать электроны и позитроны с высокой эффективностью.

Таким образом, магнитное поле Земли позволяет регистрировать позитроны и электроны вплоть до очень высоких энергий.

#### Литература

1. Ю.В. Галактионов. Поиски антивещества и темной материи и прецизионные исследования потоков космических лучей на Международной космической станции. Эксперимент АМС. Результаты четырех лет экспозиции. - М: УФН, Том 187, №1 (2017).
2. О.А. Прилуцкий. Письма в ЖЭТФ, 1972, том 16, вып.8.
3. A.Yagi et al. Crest: a cosmic-ray electron synchrotron telescope to measure TeV electrons. 29<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference Pune (2005) 3, 425-428.

**СУПЕРСИММЕТРИЧНЫЕ ТЕОРИИ С НАРУШЕННОЙ  
ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНОСТЬЮ: СУЩЕСТВОВАНИЕ,  
ЕДИНСТВЕННОСТЬ, ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ  
СЛЕДСТВИЯ**

**Маракулин А.О.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ФГБУН Институт ядерных исследований Российской академии наук  
+79262617968, marakulin@physics.msu.ru*

Важнейшей проблемой современной теоретической физики является несовместимость принципов квантовой теории поля и общей теории относительности: вопросы построения непротиворечивой квантовой теории гравитации остаются открытыми. Выходом из сложившегося положения может стать ограничение области применимости ряда постулатов, на которых построена современная теория гравитации, и отказ от них на высоких энергетических масштабах. Одним из вариантов такой модификации теории является отказ от лоренц-инвариантности как фундаментальной симметрии. Ряд лоренц-нарушающих модификаций эйнштейновской общей теории относительности хорошо зарекомендовал себя с точки зрения лучшей совместимости с квантовой теорией поля: так, весьма перспективным представляется нерелятивистский подход к квантованию гравитации, предложенный П. Хоравой [1]. Низкоэнергетический предел теории Хоравы - хронометрическая теория гравитации - является частным случаем так называемой теории Эйнштейн-эфир гравитации [2], в которой нарушение лоренц-инвариантности обеспечивается времениподобным векторным полем с единичной нормой, называемым эфиром, минимально связанным с эйнштейновской гравитацией.

Нарушение лоренц-инвариантности при высоких энергиях, как правило, приводит также к существенному нарушению в области низких энергий, поэтому интерес представляют модели, в которых лоренц-инвариантность образуется динамически как эффективная симметрия в пределе низких энергий. Один из таких механизмов основан на суперсимметрии [3]. Настоящая работа посвящена построению суперсимметричных моделей с нарушенной



лоренцевой симметрией. Модели со скалярными и векторными супермультиплетами изучены на компонентном уровне. Проведены построение и анализ суперсимметричных преобразований и лагранжианов для скалярного и векторного лоренц-нарушающих супермультиплетов в компонентах и проверка соответствия результатов аналогичным суперполевым моделям. Найдено, при каких условиях существуют нетривиальные лоренц-нарушающие модели для скалярного и векторного супермультиплетов. Суперсимметричная модель гравитационного супермультиплетата рассмотрена как с использованием суперполевого формализма как суперсимметричное расширение модели Эйнштейн-эфир гравитации, так и в терминах компонентных полей. Построена и подробно изучена теория линеаризованной гравитации с нарушенной лоренц-инвариантностью, доказана единственность построенного лагранжиана модели, как на суперполевом уровне, так и на компонентном[4, 5]. Проведено сравнение теоретических и феноменологических следствий суперсимметричных лоренц-нарушающих моделей, рассмотрен вопрос о скоростях распространения малых возмущений различной спиральности.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю С. М. Сибирякову.

#### Литература

1. Horava, P. Quantum gravity at a Lifshitz point. // *Physical Review D*, 2009, 79(8), 084008.
2. Jacobson, T. Einstein-aether gravity: a status report. arXiv preprint arXiv:0801.1547.
3. Pujolas, O., and Sibiryakov, S. Supersymmetric aether. // *Journal of High Energy Physics*, 2012, 1, 1-19.
4. Marakulin, A., and Sibiryakov, S. Supersymmetric models with broken Lorentz invariance. // *EPJ Web of Conferences*, 158, 02011, 2017
5. Marakulin, A., and Sibiryakov, S. Linearized supergravity with a dynamical preferred frame. arXiv preprint arXiv:1610.07805.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА ТИПА БН-800**

**Матвиенко М.А., Прец А.А., Зорькин А.И.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: mam25@tpu.ru*

Основу ядерной энергетики будущего составят быстрые реакторы, работающие в замкнутом топливном цикле с высоким воспроизводством делящихся изотопов. На начальном этапе внедрения замкнутого топливного цикла в странах, развивающих быстрые реакторы, планируется использовать смешанное оксидное уран-плутониевое топливо в режиме частичных перегрузок [1].

Организация замкнутого ядерного топливного цикла на базе реакторов на быстрых нейтронах позволит снизить накопление радиоактивных отходов и нарабатывать топливо для реакторов на тепловых нейтронах.

Оценка основных эксплуатационных параметров с помощью аналитических методов позволяет получить достаточно точную картину нейтронно-физических характеристик реактора, не используя для этого специальные пакеты программ. Одним из аналитических методов определения эффективного коэффициента размножения нейтронов для реактора типа БН является многогрупповой расчет спектра плотности потока нейтронов [2]. Используя данный метод, для реактора типа БН-800 получено значение эффективного коэффициента размножения нейтронов равное 1,064. Малый запас реактивности говорит о безопасной эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах. Кампания реактора составила около 300 эфф. суток, что удовлетворительно согласуется с проектным значением (325 эфф. суток [3]). Различие значений обусловлено тем, что при расчете длительности кампании не учитывались актиноиды тяжелее плутония. Получено значение доли запаздывающих нейтронов, которое составило 0,779 % на начало кампании и 0,734 % в конце кампании. Уменьшение доли запаздывающих нейтронов связано с тем, что в ядерном реакторе

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
происходит уменьшение концентрации изотопов урана и  
увеличение плутония. Доли запаздывающих нейтронов для  
изотопов плутония меньше чем для урана.

#### Литература

1. АЭС с БН-800: информ.-аналит. журн./ Открытое акционерное общество «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ». (2011)
2. Нестеров В.Н. Организация итерационного процесса при численном восстановлении спектра нейтронов в размножающей системе с графитовым замедлителем / В.Н. Нестеров, А.В. Головацкий, И.В. Шаманин // Известия вузов. Физика. (2010)
3. Матвеев В.И. Техническая физика быстрых реакторов с натриевым теплоносителем: Учебное пособие / В.И. Матвеев, Ю.С. Хомяков; под ред. чл.-корр. РАН В.И. Рачкова. – М.: Издательский дом МЭИ. (2012)

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## МУЛЬТИАНОДНЫЙ ГАЗОВЫЙ СЧЕТЧИК ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКОВ СВЕРХНИЗКИХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ НА УСКОРИТЕЛЕ ИЯИ РАН

Мельников А.А.<sup>1,2</sup>, Гаврилов С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МФТИ (ГУ), Долгопрудный

<sup>2</sup> ИЯИ РАН, Троицк

8926 668 32 05, alex-9.06@mail.ru

Задача: Разработка, изготовление, установка и наладка диагностического устройства для измерений импульсного тока, поперечных профилей и положения центра тяжести пучка протонов с параметрами: энергия протонов 100÷250 МэВ; размер пучка по основанию 20÷50 мм; частота следования импульсов 1÷50 Гц; длительность импульса 10÷180 мкс; импульсный ток 1÷1000 нА.

Практическая значимость работы: Полученные результаты численного моделирования и аналитическая оценка ключевых рабочих параметров пропорциональной камеры лежат в основе изготовления реального прибора- измерителя малых токов для облучательного стенда ИЯИ. Разработанная и испытанная система неразрушающей диагностики пучка ускорителя позволяет проводить облучения образцов с контролем интенсивности и пространственно-временных характеристик пучка в режиме реального времени.

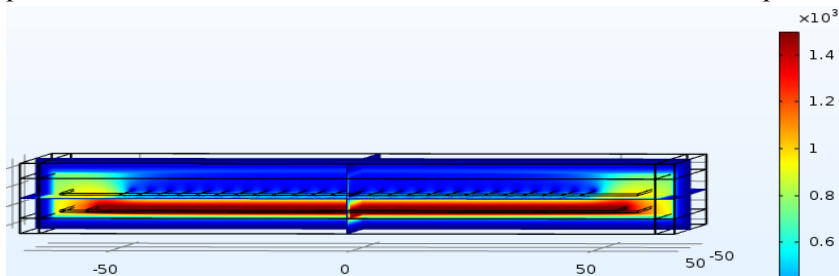


Рис.1. Распределение электрического потенциала(В) в камере при напряжении между полосками и плоским электродом 1500В

На основании моделирования и теории прохождения заряженных частиц через вещество и основ процессов газового разряда [1,2] были сделаны некоторые оценки. Например, необходимая разность потенциалов для работы в ионизационном и пропорциональном режимах, количество первичных электронов ионизации от 1 частицы. Более того, учтены явления захвата электронов кислородом, возбуждения электронных уровней молекул, ионизации наполняющего газа, рассмотрены упругие столкновения. Построены вольт-амперные характеристики счетчика.

Данную диагностическую систему пучка дополняет программа для сбора и обработки сигналов со счётчика, калибровки по индукционному датчику, позволяющие в полной мере исследовать радиационную стойкость электроники при облучении пучком заряженных частиц.

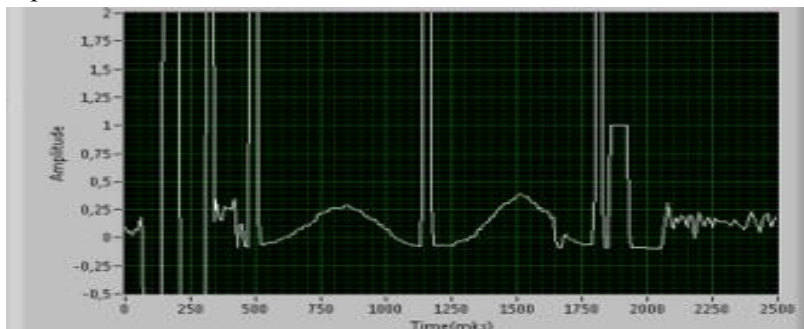


Рис.2. Пример сигнала со счётчика: X,Y профили и ток пучка

#### Литература

1. G. CHARPAK and F. SAULI. MULTIWIRED PROPORTIONAL CHAMBERS AND DRIFT CHAMBERS. CERN, Geneva. Switzerland (1979).
2. S.I. Potashev, S.V. Akulinichev. A thin-walled air-ionization chamber for proton therapy. Nuclear Instruments and Methods in Physics research (2004).

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЦИКЛИЧЕСКОМ УСКОРИТЕЛЕ-НАКОПИТЕЛЕ С ФОКУСИРОВКОЙ ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ.

Мельников С. А<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Объединенный Институт Ядерных Исследований, г. Дубна

<sup>2</sup> Государственный Университет Дубна, г. Дубна  
8-915-191-65-89, recoveru50@gmail.com

Задачей является исследование влияния возмущений магнитного поля на динамику заряженных частиц в ускорителе-накопителе с продольным магнитным полем LEPTA (рис. 1).

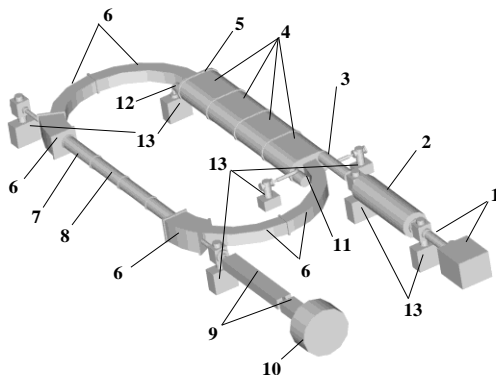


Рис.1. Схема установки LEPTA: 1 – форинжектор; 2 – позитронная ловушка; 3 – секция инъекции позитронов; 4 – септумные соленоиды; 5 – кикер (расположен внутри септумного соленоида); 6 – тороидальные соленоиды; 7 – соленоид и квадрупольная катушка; 8 – секция электронного охлаждения, прямолинейный соленоид; 9 – дипольный анализирующий магнит; 10 – координатно-чувствительный детектор; 11 – электронная пушка; 12 – коллектор электронов; 13 – вакуумный насос.

Установка LEPTA, созданная в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, предназначена для генерации направленного потока ортопозитрония, который образуется в результате рекомбинации позитронов, циркулирующих в кольце LEPTA, с однооборотным пучком электронов, системы электронного охлаждения [1].

Установка состоит из инжектора позитронов, полученных от  $\beta^+$  активного источника на основе изотопа  $N^{22}$ , ловушки типа Пеннинга-Малмберга-Сурко, собственно накопительного кольца с системой электронного охлаждения, каналов транспортировки позитронов, а также из системы вывода и анализа потока позитрония.

Для обеспечения долговременной стабильности пучка, на одном из прямолинейных участков траектории создается дополнительное спиральное квадрупольное магнитное поле.

В общем случае, движение частицы можно разбить на две независимые составляющие:

- быстрое Ларморовское вращение частицы вокруг линии магнитного поля с частотой:

$$Q_L \approx \frac{C}{2\pi\rho_L}, \quad (1)$$

где  $C$  – длина кольца,  $\rho_L$  – радиус Ларморовской спирали частицы в накопителе.

- медленные «бетатронные» колебания, совершаемые частицей поперек линии магнитного поля в квадруполе:

$$Q_{bet} \approx g^2 \frac{Lh}{4\pi}, \quad g = \frac{G}{B}, \quad (2)$$

где  $G$  – градиент поля спирального квадрупольного поля,  $L$  – длина и  $h$  – шаг квадрупольной спирали.

В докладе представлена матрица оптического преобразования для кольца LEPTA, рассчитанная в квадратичном приближении по малому параметру  $g\rho_L \ll 1$ . Программа, построенная в Mathcad для этой матрицы, позволила изучить многооборотную устойчивость движения частицы в кольце LEPTA. Результаты представлены в докладе.

#### Литература

И.А Селезнев и др., Накопитель заряженных частиц с продольным магнитным полем «LEPTA»:// ЭЧАЯ, 36, 2005, с. 562-594 ОИЯИ

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ФОНОВОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ В  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ  
В КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ**

*Михайлова А.В.*

*НИЯУ МИФИ, Москва  
89161119017, ann\_mikhailova@mail.ru*

Аппаратура АВС-Ф предназначена для изучения характеристик нестационарных потоков электромагнитного излучения в широком диапазоне энергий 3 кэВ-80 МэВ, источниками которого в указанном диапазоне являются в основном  $\gamma$ -всплески и солнечные вспышки. Эксперимент позволяет изучать процессы ускорения частиц на Солнце, генерации солнечного  $\gamma$ -излучения, взаимодействия ускоренных частиц с окружающим веществом фотосферы. Кроме того, задачей эксперимента является изучение магнитосферных явлений, например высыпаний частиц. В эксперименте использовался детектор СОНГ-Д (Солнечные Нейтроны и Гамма-кванты). Детектор представлял собой сцинтилляционный детектор на основе CsI(Tl) диаметром 200 мм и высотой 100 мм, окруженный для защиты от заряженных частиц антисовпадательным пластиковым защитным детектором [1]. Изучение солнечных и магнитосферных явлений требует детального знания фоновых условий работы на околоземной орбите.

Целью работы является изучение экваториальных участков для дальнейшей разработки модели фона для эксперимента АВС-Ф.

Разнообразные процессы взаимодействия космического излучения с атмосферой Земли, веществом спутника и самого детектора формируют сложный энергетический спектр фонового  $\gamma$ -излучения [2].

Обычно модель фона в детекторах строится посредством скорости счета на нескольких последовательных витках орбиты. Для низкоорбитального высокоширотного спутника необходимо исключить прохождения бразильской магнитной аномалии, так как влияние захваченной радиации приводит к резкому возрастанию фона [3]. Были проанализированы участки



прохождения орбиты АВС-Ф экваториальных областей и полярных шапок за 10 дней, ближайших к вспышке 29.10.2003 (рис.1). Из рассмотренных витков были исключены временные интервалы с выявленными высыпаниями и нестационарными процессами. Выбранные «чистые» участки были использованы для построения фона, если темп счета не превышал 1200 Гц, широта регистрации минимума изменялась от +10 до -10 градусов. Для всех участков были определены Кр индексы за сутки до начала и сутки после прохождения. Фон может быть получен усреднением темпов счета отобранных интервалов с привязкой к координатам. Построенная модель фона позволяет провести анализ гамма-излучения события 29.10.2003

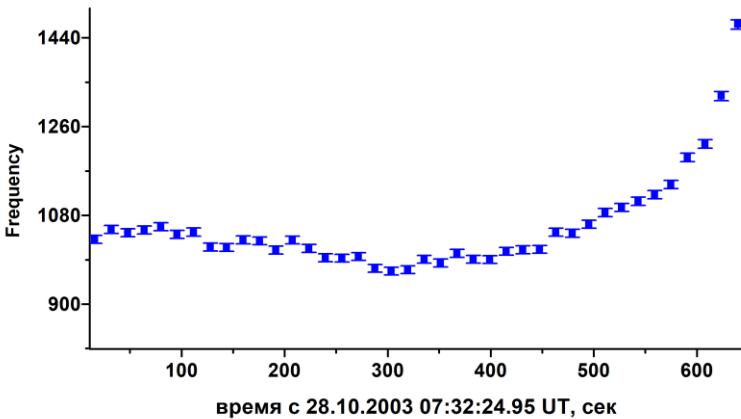


Рис.1. Пример отобранного экваториального участка  
(сеанс 12564)

#### Литература:

1. Солнечно-земная физика: Результаты экспериментов на спутнике КОРОНАС-Ф М. : Физматлит 2009.
2. Р.Хилльер Гамма-астрономия. (1987).
3. А.И. Архангельский, И.В. Архангельская. Модель фона в энергетическом диапазоне от 0.1 МэВ до нескольких МэВ для низкоорбитальных спутников с высоким наклоном (2015).

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ЛЕГКИХ  
ЯДЕР В d-  $^9\text{Be}$  ВЗАИМОДЕЙСТВИИ**

**Мицук В.В.<sup>1,2</sup>, Зуев С.В.<sup>2</sup>, Каспаров А.А.<sup>2</sup>, Конобеевский Е.С.<sup>2</sup>,  
Мордовской М.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва*

<sup>2</sup> *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования Московский физико-технический институт  
(государственный университет), Москва  
конт. тел. докладчика: 8-915-538-80-52, e-mail докладчика:  
vyacheslav.mitsuk@phystech.edu*

Одной из фундаментальных задач ядерной физики является исследование кластерной структуры легких ядер ( $^6,7\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$ ,  $^{10,11}\text{B}$  и др) [1-3]. Одним из инструментов изучения кластерной структуры может служить исследование различных квазисвободных реакций на кластерах, образующих эти ядра. При этом в качестве ядер снарядов, вызывающих эти реакции могут быть использованы легчайшие ядра: протоны, дейтроны и альфа-частицы.

Однако наряду с квазисвободными реакциями на кластерах исследуемого ядра могут протекать и реакции на ядре мишени с возбуждением низколежащих уровней, как этого ядра, так и соседних ядер, отличающихся по числу нуклонов от ядра-мишени. Например, при облучении мишени  $^9\text{Be}$  дейтронами могут возбуждаться уровни  $^9\text{Be}$  в реакции неупругого рассеяния дейтронов,  $^8\text{Be}$  в реакции (d,t),  $^{10}\text{Be}$  в реакции (d,p),  $^7\text{Li}$  в реакции (d, $\alpha$ ).

По результатам кинематического моделирования указанных реакций и расчетов прохождения заряженных частиц через систему детекторов были определены необходимые параметры установки и условия эксперимента. Получены предварительные результаты исследования угловой зависимости реакций  $^9\text{Be}(d,d)^9\text{Be}$ ,

${}^9\text{Be}(d,t){}^8\text{Be}$ ,  ${}^9\text{Be}(d,p){}^{10}\text{Be}$  и  ${}^9\text{Be}(d, \bar{b}){}^7\text{Li}$  с возбуждением основных и низколежащих возбужденных уровней ядер  ${}^8\text{-}^{10}\text{Be}$  и  ${}^7\text{Li}$ .

Литература

1. М.А. Жусупов, Р.С. Кабатаева. Мультикластерная структура основного и возбужденных состояний ядра  ${}^9\text{Be}$ . Известия РАН. Серия физическая. Т. 76. № 4. С. 485-488 (2012).

2. Л. И. Галанина, Н.С. Зеленская. Механизмы последовательной передачи частиц и характеристики легких нейтронно-избыточных и ориентированных ядер. Физика элементарных частиц и атомного ядра. Т.43. Вып. 2. С. 295-368 (2012).

3. А. В. Нестеров, В. С. Василевский, Т. П. Коваленко. Природа резонансных состояний зеркальных ядер  ${}^9\text{Be}$  и  ${}^9\text{B}$ . Ядерная физика. Т. 77, № 5, с. 589-602 (2014).

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ  
РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА  
РАЗМНОЖЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В КОРИУМЕ**

**Молоскин А.Е., Парамонова И.Л.**

*СПБПУ Петра Великого, Санкт-Петербург*  
*СПБПУ Петра Великого, Санкт-Петербург*  
*+79119367039, al\_e\_m@mail.ru*

Для обоснования безопасной работы как действующих, так и проектируемых ядерных энергетических установок широко используется компьютерное моделирование аварийных ситуаций, в том числе запроектных аварий с расплавом активной зоны ВВЭР. Расплав активной зоны реактора ведет к образованию кориума – смеси топлива и конструкционных материалов реактора. Попадая в ловушку расплава, кориум заливается водой, в результате образуется гетерогенная среда кориум–вода, которая за счет наличия делящегося топлива и замедлителя может достигнуть вторичной критичности [1]. В настоящий момент для получения данных о такой среде используется компьютерное моделирование. В частности, во ВНИИЭФ разработана программа TDMCC (Time Depended Monte Carlo Code), использующая для расчетов модель, представляющую гетерогенную среду в виде шариков, расположенных в узлах гексагональной решетки [2]. В программе реализован метод Монте-Карло [3].

Целью работы являлась проверка корректности использования модели гетерогенной среды для описания процессов в кориуме; получение верхней оценки для возможной вторичной критичности при моделировании кусочков кориума в виде шариков, цилиндров и эллипсоидов.

На сегодняшний день главенствует предположение о максимально возможной критичности в шариковой модели из-за оптимального соотношения объема и площади поверхности шара. Но форма частиц кориума варьируется в широком диапазоне и можно предположить существование других, более оптимальных форм, которые позволят достичь большего  $K_{эфф}$  в системе.

Проведено моделирование как для кусочков в виде шаров, находящихся в различных соотношениях кориум-вода, так и для аналогичных по объему и соотношению кориум-вода кусочкам в виде эллипсоидов и цилиндров, а затем проведено сравнение результатов. Характерный размер кусочков  $k$  находился в пределах 0,2-10 мм.

Часть результатов моделирования (для шаров) приведена на рис.1.

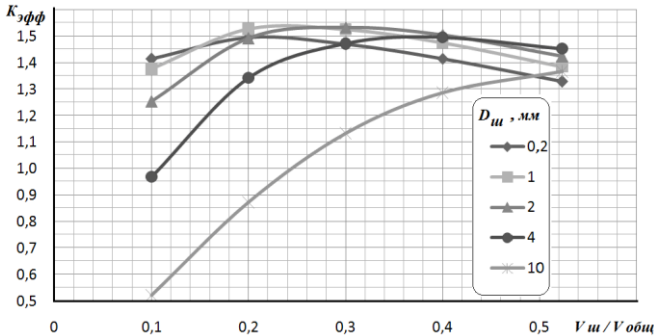


Рис.1. Результаты моделирования при представлении  $k$  в виде шаров

Кроме того, получены результаты и для других форм. Следует отметить, что в некоторых случаях (при относительно большом размере кусочков) в системе цилиндров и эллипсоидов получен больший  $K_{эфф}$ , чем при использовании шаров. Это говорит о необходимости дальнейшей разработки темы для создания оптимальной конечной модели.

#### Литература

1. Артамонов Н.В., Сидоров А.С. Изменение размножающих свойств реактора типа ВВЭР-1000 при прохождении запроектной аварии с расплавлением активной зоны / ОАО “Атомэнергопроект”, Москва.

2. Семенова Т.В., Гусев Е.А., Артемьева Е.В. и др. Возможности программы TDMCC для расчета кампаний реакторов / Российский Федеральный Ядерный Центр – ВНИИЭФ, Саров.

3. Франк-Каменецкий А.Д. Моделирование траекторий нейтронов при расчете реакторов методом Монте-Карло. – М.: Атомиздат, 1978 - 96 с.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**КАЛИБРОВКА СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ  
TUNKA-GRANDE**

**Монхоев Р.Д.<sup>1</sup> от коллаборации Тунка**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», Научно-исследовательский институт прикладной физики, Иркутск, Россия.  
89149443249, makaay08@rambler.ru

Сцинтилляционная установка Tunka-Grande входит в состав единого экспериментального комплекса, расположенного в Тункинской долине (республика Бурятия, Россия) в 50 км от озера Байкал. Данный комплекс также включает в себя установку Тунка-133 [1], регистрирующую черенковское излучение ШАЛ, и установку Tunka-Rex [2], предназначенную для детектирования радиоизлучения ШАЛ. Задачей совместной работы установок является детальное изучение энергетического спектра и массового состава первичных космических лучей в диапазоне энергий 10 ПэВ - 1000 ПэВ, а также поиск диффузного гамма-излучения в диапазоне энергий 50 ПэВ - 500 ПэВ.

В докладе приведено описание экспериментального комплекса, представлена методика амплитудной калибровки сцинтилляционных счетчиков и приведены полученные результаты, указаны перспективы исследования космических лучей при одновременной регистрации черенковской и заряженной компонент, а также радиоизлучения ШАЛ.

#### Литература

1. V.V. Prosin et al. Tunka-133: Results of 3 year operation. Nucl.Instrum.Meth. A756. P.94-101 (2014).
2. F.G. Schröder et al. The Tunka Radio Extension (Tunka-Rex): Radio Measurements of Cosmic Rays in Siberia. Nucl.Instrum.Meth. A824. P.652-654 (2016).

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ОТКЛИКА ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК  
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОГО ТРЕКЕРА ЭКСПЕРИМЕНТА  
SHiP ДЛЯ РЕАЛИСТИЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В  
ПРОГРАММЕ FairSHiP**

*Насыбулин С.А.*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> НИЦ КИ ФГБУ ПИЯФ, Гатчина

<sup>2</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург

8(911)918 45 57, [zonedad@mail.ru](mailto:zonedad@mail.ru)

Актуальность данной работы заключается в том, что в связи с планируемой модификацией спектрометрического трекера, необходимо исследовать поведение сигналов, возникающих в компонентах одной из установок эксперимента – straw-трубках, в зависимости от различных параметров.

В рамках данной работы рассматривается подзадача параметризации отклика дрейфовых трубок. Для симуляции сигналов в straw-трубке с произвольной геометрией используется программный пакет GARFIELD, разработанный в ЦЕРН [1]. Все последующие необходимые вычисления и обработка данных велись в пакете программного обеспечения для обработки данных ROOT (CERN) [2].

Были разработаны методики анализа огромного объёма статистических данных, на основе которых генерируется подробный отчёт, позволяющий судить о характеристиках детектора.

Результаты данной работы уже сейчас активно используются, для оценки точности компьютерной симуляции, путём сравнения с реальными экспериментальными данными.

Литература

1. Garfield - simulation of gaseous detectors [Электронный ресурс]. URL: <http://garfield.web.cern.ch/garfield/>

2. ROOT a Data analysis Framework [Электронный ресурс]. URL: <https://root.cern.ch/>

## ПОИСК НЕЙТРИННОГО СИГНАЛА ОТ КИЛОНОВОЙ GW170817 ПРИ ПОМОЩИ ДЕТЕКТОРА VOREXINO

Нугманов Р.Р.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»  
+7(968)788-16-87, [nugmanov-97@mail.ru](mailto:nugmanov-97@mail.ru)*

17 августа 2017 года гравитационно-волновые детекторы LIGO и Virgo зарегистрировали событие GW170817 слияния двух нейтринных звезд. Так как данное событие было обнаружено в гамма- и рентгеновском электромагнитном диапазоне, оно позволяет произвести проверку альтернативных теорий гравитации, получить более ясное представление о возникновении гамма-всплесков. В настоящей работе это событие было рассмотрено в качестве возможного источника нейтринного сигнала в детекторе Vorexino. Ранее детектор Vorexino предпринял поиски нейтринного сигнала от гравитационно-волновых событий GW 150914, GW 151226, GW 170104, ставших результатом слияния двух черных дыр. Был установлен верхний предел на флюенс нейтрино всех сортов от этих событий [1]. Поиск нейтринного сопровождения гравитационно-волновых событий предпринимался и другими нейтринными обсерваториями [2].

Vorexino это жидко-сцинтилляционный детектор, расположенный на глубине 3800 м. водного эквивалента в подземной лаборатории Gran Sasso (Италия). Детектор способен регистрировать события взаимодействия нейтрино с энергетического порога 200 кэВ. Основная сложность в регистрации нейтрино заключается в их малом сечении взаимодействия с веществом. Для поиска нейтринных событий было выбрано временное окно  $\pm 500$  с от времени регистрации события GW170817. Поиск событий взаимодействия нейтрино проводился по реакции рассеяния нейтрино на электроны. Число зарегистрированных детектором событий в области энергий 1÷4 МэВ оказалось на уровне ожидаемого фона. В результате проведенного анализа были получены ограничения на флюенс



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
электронных нейтрино от гравитационно-волнового события  
GW170817 в зависимости от их энергии (Рис. 1).

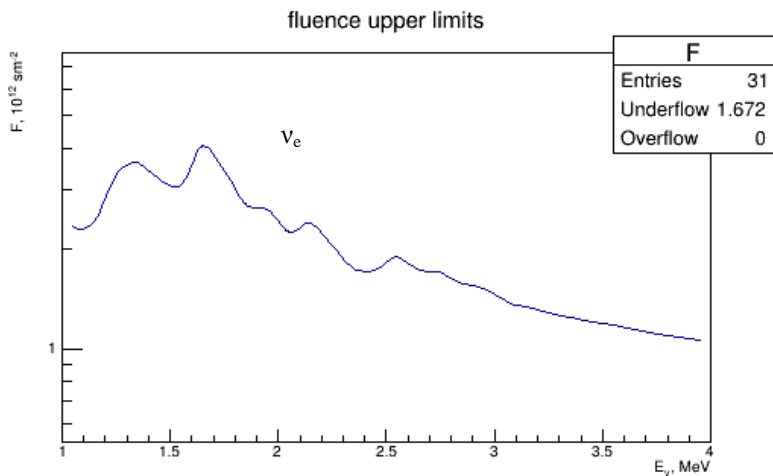


Рис. 1. Зависимость верхнего предела на флюенс электронных нейтрино от их энергии на 90% уровне достоверности.

Полученное верхнее ограничение на флюенс совпадает по порядку величины с ранними результатами Borexino по другим гравитационно-волновым событиям [1].

#### Литература

1. M. Agostini *et al.*, A search for Low-energy Neutrinos Correlated with Gravitational Wave Events GW 150914, GW 151226 and GW 170104 with the Borexino Detector, *ApJ*, 850:21 (2017)
2. S. Adrián-Martínez *et al.*, High-energy neutrino follow-up search of gravitational wave event GW150914 with ANTARES and IceCube, *Phys. Rev. D* 93, 122007 (2016)

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОЙ МАТРИЦЫ ДЯТ НА ОСНОВЕ Zr-Al ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Пермикин А.А., Чурсин С.С., Долматов О.Ю.

НИ Томский политехнический университет, г. Томск  
aap71@tpu.ru

Разработка новых топливных композиций, сегодня, является важной задачей. Наиболее перспективным видом топлива можно считать дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ). Переход от традиционного керамического топлива к ДЯТ позволит значительно повысить эффективность ядерных энергетических установок благодаря улучшенным теплофизическим характеристикам ДЯТ[1].

Важной частью ДЯТ является матрица – неактивная часть, в которую диспергированы топливные частицы. В рамках данной работы осуществлялся расчет накопления активности интерметаллидной матрицы на основе системы Zr-Al при её облучении в ЯР. Полученная зависимость представлена на рисунке 1.

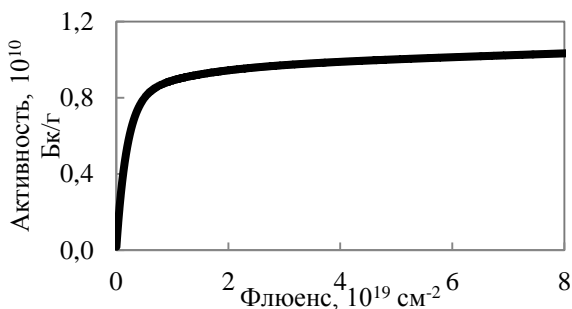


Рис.1. Накопление активности матрицы в процессе облучения

Так же в работе определена динамика дозовой нагрузки матрицы после вывода материала из под облучения.

Литература

C.L. Dunford et al., ENDF Utility Codes, BNL, NNDC, 2005.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТ  
ТЕНЗОРА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ,  
ДВИЖУЩЕГОСЯ В АНИЗОТРОПНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ**

***Писаревский М.И.<sup>1</sup>, Федосеев В.Н.<sup>1</sup>, Корсун А.С.<sup>1</sup>,  
Балберкина Ю.Н.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ», Москва, Россия.  
конт. тел: 8(917)536-30-34, e-mail: peace579@mail.ru*

### **Аннотация**

В работе представлены результаты экспериментального измерения эффективной теплопроводности воды при турбулентном поперечном обтекании коридорного пучка стержней с квадратной упаковкой. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-19-10548).

### **Введение**

Эффективный теплоперенос в жидкости, обтекающей структуры типа пучка стержней, определяется как суперпозиция потоков за счет молекулярной и турбулентной теплопроводности жидкости, за счет скоростей отклонения и потока, обусловленного теплопереносом через стержни. Каждой составляющей теплового потока можно поставить в соответствие коэффициент теплопроводности:

$$q = -(\lambda^{mol} + \lambda^{turb} + \lambda^{cmk} + \lambda^{cm}) grad(T_f)$$

Все коэффициенты теплопроводности должны быть тензорными величинами [1,2]. В качестве главных компонент тензора можно принять эффективные коэффициенты теплопроводности в направлениях вдоль и поперек сборки стержней  $\lambda_{\parallel}$  и  $\lambda_{\perp}$ . В работе экспериментально определялся коэффициент эффективной теплопроводности воды  $\lambda_{\parallel}$ , поперечно обтекающей стержневую сборку.

### **Экспериментальная модель**

Два параллельных потока жидкости движутся с одинаковой скоростью  $v$  и разной температурой через стержневую сборку. Канал имеет участок смешения потоков длиной  $L_{см}$  и поперечным

прямоугольным сечением  $b \cdot h$ . За пределами этого участка потоки разделены непроницаемой нетеплопроводной перегородкой. Вследствие взаимодействия потоков на участке смешения передача тепла от горячего потока к холодному и температуры потоков меняются. Поперек потоков тепло переносится за счет эффективной теплопроводности теплоносителя, которая и подлежит измерению.

### Обработка экспериментальных данных

Распределение температуры теплоносителя подчиняется стационарному уравнению теплопроводности, которое при соответствующих условиях эксперимента граничных условиях имеет решение

$$\frac{T_{\text{вх1}} - T_{\text{вых1}}}{T_{\text{вх1}} - T_{\text{вх2}}} = \frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\exp(-k(2n+1)^2)}{(2n+1)^2}$$

, где  $k = \frac{\pi^2 L_{\text{см}} \lambda_{\text{эфф}}}{h^2 \rho c_p v_{\phi}}$ ,  $T_{\text{вх1}}$  - температура первого потока на входе в участок,  $T_{\text{вх2}}$  - температура второго потока на входе в участок,  $T_{\text{вых1}}$  - температура первого потока после участка смешения,  $k$  - параметр переноса,  $\lambda_{\text{эфф}}$  - коэффициент теплопроводности теплоносителя в поперечном течении потоков направления,  $L_{\text{см}}$  - длина смешения потоков,  $\rho$  - плотность теплоносителя,  $c_p$  - теплоемкость теплоносителя. В исследуемом диапазоне чисел Re предлагается зависимость

$$\lambda_{\text{эфф}} = 0,0086 \text{Re}_m + 4,74$$

### Литература

1. А.С. Корсун. Эффективная теплопроводность пористых структур, составленных из пучков стержней или труб.// Тепломассообмен ММФ-2000. Тр. IV Минского межд. Форума, Минск, ИТМО, 2000. Т.10, с.242-250

2. А.С. Корсун, О.В. Митрофанова, М.С. Соколова. Эффективный перенос тепла в анизотропной пористой среде // Проблемы безопасности ядерно - энергетических установок. Тезисы докладов девятого семинара по проблемам физики реакторов, М.: МИФИ, 1995. Т.2. С. 116 – 120.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕКОВ АНТИПРОТОНОВ И  
АНТИДЕЙТРОНОВ В ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ  
КАЛОРИМЕТРЕ СПЕКТРОМЕТРА ПАМЕЛА С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА**

***Роденко С.А, Троицкая И.К., Майоров А.Г, Малахов В.В.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва*

*8-962-919-94-75, SARodenko@mephi.ru*

Магнитный спектрометр ПАМЕЛА на борту космического аппарата Ресурс-ДК1 измерял потоки заряженных частиц и античастиц в космическом излучении с июня 2006 года по февраль 2016 года [1]. Структура прибора позволяет регистрировать частицы при помощи различных детекторных систем, получая более достоверные результаты.

В работе предлагается метод идентификации античастиц (антипротонов и антидейтронов) низких энергий при помощи позиционно-чувствительного стрипового калориметра в эксперименте ПАМЕЛА. Треки античастиц до аннигиляции в веществе прибора, а также треки вторичных (рождённых в процессе аннигиляции) частиц определялись с использованием преобразования Хафа [2, 3] – одного из методов цифровой обработки изображений, – позволяющего искать на изображениях прямые линии, которые в данном случае являются треками частиц и античастиц (поиск топологии «звезда»).

#### Литература

1. P. Picozza et al. PAMELA – A payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics. *Astroparticle Physics*. Vol. 27. P. 296-315 (2007).
2. C.R. Gonzalez, R.E. Woods *Digital Image Processing*. 2rd. P. 587. (2002)
3. C.R. Gonzalez, R.E. Woods, S.L. Eddings *Digital Image Processing Using Matlab*. P. 549. (2009)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОФОНОВОЙ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ГРАФИТА ИНТЕРКАЛИРОВАННОГО АТОМАМИ МЕТАЛЛОВ И МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА**

**Романенко В.С.<sup>1,2</sup>, Ахматов З.А.<sup>1</sup>, Хоконов А.Х.<sup>1,2</sup>,  
Ганганшиев А.М.<sup>2</sup>, Кузьминов В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Кабардино-Балкарский Государственный Университет  
им. Х.М.Бербекова, Россия, Нальчик.

<sup>2</sup> Институт ядерных исследований РАН, Россия, Москва.  
8(952)9753970, vsrom94@gmail.com

В настоящее время для изучения графеноподобных структур используются методы атомно-силовой и вибрационной спектроскопии. Например, в работе [1] проанализированы возможности рамановской спектроскопии гидрированного и металлизированного графена, а также многослойных графеноподобных структур.

В данной работе представлены результаты экспериментов по определению возможностей метода изотопных маркеров для изучения графеноподобных наноструктур, интеркалированных атомами металлов с помощью низкофоновой ядерной спектроскопии, в условиях Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН [2].

Эффективность электрохимической интерколяции графита атомами калия из водного раствора хлорида калия определялась измерением гамма активности изотопа К-40 (рис. 1). Полученные данные были использованы для определения концентрации калия в межслойных областях, параллельных базисной плоскости графита (0001). Молекулярно-динамическое моделирование процесса интерколяции высокоориентированного пиролитического графита атомами калия из газовой фазы, а также процесса релаксации кристаллической решетки интеркалированного графита осуществлялось с помощью программ LAMPS и HyperChem. В результате была получена равновесная концентрация атомов калия, соответствующая формуле  $KC_{24}$  и увеличение межплоскостных зазоров графита.

Отметим, в плане развития, что методы позитронно-аннигиляционной спектроскопии могут быть использованы для восстановления поверхности Ферми с помощью доплеровского уширения аннигиляционного пика и анизотропии распределения импульсов аннигиляционной пары фотонов. Определение размеров полостей и типов атомных вакансий может быть реализовано спектроскопией времени жизни позитронов. Использование детектора HPGe в низкофоновых условиях Баксанской нейтринной обсерватории позволяет значительно улучшить точность определения параметров поверхностей Ферми металлизированных образцов в рамках доплеровского уширения аннигиляционного пика.

**Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 16-29-13011 офи\_м.**

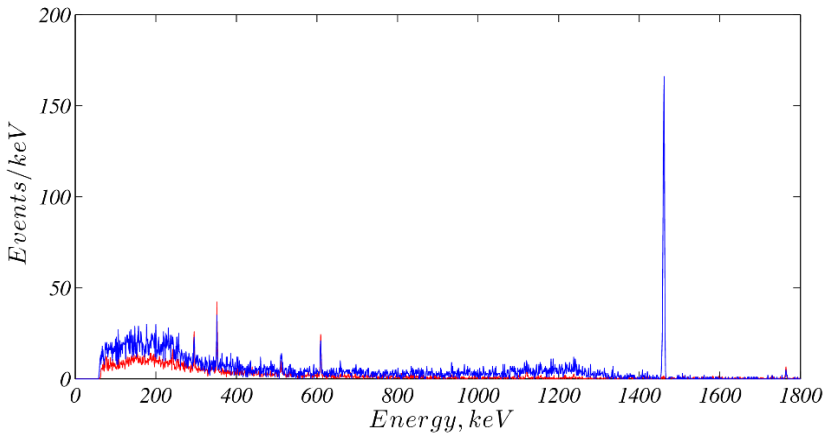


Рис.1. Результаты низкофоновых измерений. Синяя кривая – данные с образцом (384 часа). Красная кривая – данные без образца.

#### Литература

1. Akhmatov Z. A., Khokonov A. Kh., Tarala V. A., Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2016, vol.80, pp.1341–1343.
2. Kuzminov V.V., Gangapshev A.M., Gavriluk Yu.M. et.al. Nucl. Instr. and Meth A, 2017, vol. 841, pp.156–161.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ВАКАНСИОННОЕ РАСПУХАНИЕ СТАЛИ 12X18N10T**

*Русяева К. А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал  
НИЯУ МИФИ, Димитровград*

В современном мире создаются различные новые технологии, что позволяет быстро развиваться науке и технике. Одна из таких наук – материаловедение. Оно изучает строение и свойства материалов, устанавливает связь между строением и свойствами, составом, а также изучает поведение материалов в зависимости от воздействия окружающей среды и при воздействии облучения в ядерных реакторах. Для создания новых технологий необходимы прочные, надежные и высококачественные материалы. Особенно высокие требования предъявляются к материалам, применяемым в реакторостроении.

Цель данной работы состоит в изучении вакансионного набухания и выполнении количественного анализа для измерения параметров пористости стали 12X18N10T после облучения в реакторе БОР-60 при повреждающей дозе 108 сна.

В процессе облучения материалов в ядерном реакторе образуется множество дефектов кристаллической решетки. Одним из эффектов, вызванных тем, что в облучаемых металлах и сплавах происходит пересыщение точечными радиационными дефектами, является зарождение и развитие объемных скоплений вакансий в виде вакансионных пор [1]. Образование таких полостей в теле кристалла приводит к общему увеличению его объема – набуханию.

При облучении твердых тел, например, металлов частицами высоких энергий, которые передают атомам мишени энергию, превышающую энергию смещения атомов (порядка 20–40 эВ), происходит образование точечных радиационных дефектов – вакансий и межузельных атомов – пар Френкеля. Дальнейшее поведение этих точечных дефектов двух типов определяет степень и характер радиационного повреждения материалов. Поры только один из видов группировки вакансий.



Возникновение вакансионной пористости приводит к деградации механических свойств материала, в нашем случае это сталь 12X18H10T. Для прогноза дальнейшего поведения изделий из данных материалов в процессе эксплуатации важно иметь информацию о размере и концентрации этих дефектов на разных стадиях облучения, а также распухании.

Основными параметрами пористости являются средний размер пор и их концентрация [2]. Для количественного анализа был выбран один из образцов, облученный в реакторе БОР-60, вырезанный из шестигранного чехла экранной сборки Э-65. Повреждающая доза для образца из стали 12X18H10T составила: 108 сна при температуре 330°C. Средний размер пор определяется как среднее арифметическое всех измеренных видимых на снимке пор, а концентрация  $\rho$  вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{N}{tS}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество пор;  $t$  – толщина фольги, м;  $S$  – площадь снимка, м.

В образце было обнаружено значительное количество вакансионных пор (рис. 1). Уровень распухания (объемная доля пор) в образце не превышает 10% и составляет 1,91%, что является нормой при распухании материалов; значения среднего диаметра пор равно 19,4 нм, а концентрация пор равна  $3,4 \pm 0,2 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}$ .

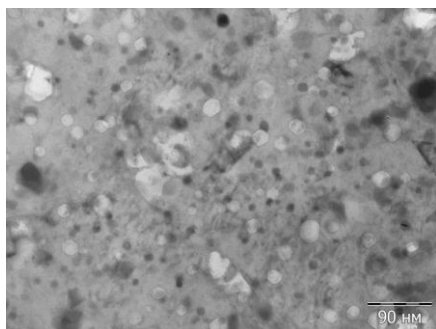


Рис.1. Изображение вакансионной пористости в образцах стали марки 12X18H10T, облучённой до повреждающей дозы 108 при температуре 330 °С.

Поведение температурных и дозовых зависимостей среднего диаметра пор и их концентрации соответствует существующим в

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
настоящее время представлением образования и развития  
вакансионной пористости [2].

Полученные данные будут использованы для пополнения базы данных по радиационной стойкости стали 12X18H10T, необходимые для обоснования продления назначенного срока службы энергетических реакторов типа ВВЭР.

#### Литература

1. Б.А. Калинин. Физическое материаловедение. (М: МИФИ, 2008).
2. Г. Томас., М. Дж. Горинж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов. (М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983).

## **ПРОВЕРКА МОДУЛЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА GEANT4 СРАВНЕНИЕМ С ТОЧНЫМИ ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ**

**Савченко А.А.<sup>1,2</sup>, Тищенко А.А.<sup>1,2</sup>, Сергеева Д.Ю.<sup>1,2</sup>,  
Стриханов М.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
Москва*

+7(915)4579210, [aasavchenko1@mephi.ru](mailto:aasavchenko1@mephi.ru)

Рентгеновское переходное излучение (РПИ), возникающее при пересечении границы двух сред с различными диэлектрическими проницаемостями, играет важную роль для детектирования и трекинга заряженных частиц на ускоряющих установках [1 - 3]. Для проектирования новых детекторов и анализа данных с уже существующих необходима корректно работающая компьютерная модель, позволяющая с необходимой точностью описать все значимые процессы при взаимодействии фотонов РПИ и первичных частиц с детектором.

Цель данной работы — проверить модель рентгеновского переходного излучения [4], внедренную в программный пакет моделирования GEANT4 [5], путем ее сравнения с хорошо изученными моделями РПИ, предложенными Г.М. Гарибяном [7] и В.Е. Пафомовым [6]. GEANT4 один из наиболее популярных программных пакетов моделирования взаимодействия частиц и излучения с веществом в области ядерной и медицинской физики, физики высоких энергий и астрофизики. Причиной проверки послужило несоответствие угловых распределений фотонов РПИ экспериментальным данным.

В нашей компьютерной модели рассматривается прохождение заряженных частиц (мюоны 180 ГэВ и электроны 20, 10 и 2 ГэВ) сквозь детектор переходного излучения (см. рис. 1а), состоящего из радиатора РПИ (см. рис. 1б), трубы с гелием (служит для уменьшения расходимости пучков фотонов и электронов) и детектирующего объема. Для проверки GEANT4 модели РПИ от

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

слоистой структуры проводятся сравнения выхода фотонов, их  
углового и спектрального распределений для различных энергий  
пучка первичных частиц.



Рис.1. а) Визуализация детектора на ПИ в программном пакете GEANT4. Пучок электронов попадая в радиатор ПИ генерирует РПИ, далее электроны и фотоны проходят через трубу, наполненную гелием и регистрируются в детектирующем объеме. б) Схема генерации РПИ в радиаторе. Радиатор — это многослойная структура, состоящая из  $M$  фольг толщиной  $a$  (синим) и вакуумных (воздушных) зазоров толщиной  $b$  между ними, зеленые конусы символизируют ПИ.

Один из авторов (А.А. Савченко) благодарен за поддержку ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.616.21.0086.

Литература.

- [1] E. Abat et al. (ATLAS collaboration), The ATLAS TRT end-cap detectors, JINST **3**, P02014 (2008).
- [2] G. Aad et al. (ATLAS collaboration), The ATLAS experiment at the CERN Large Hadron Collider, JINST **3**, S08003 (2008), see p. 68.
- [3] K. Aamodt et al. (ALICE collaboration), The ALICE experiment at the CERN LHC, JINST **3**, S08002 (2008), see p. 66.
- [4] V.M. Grichine, Generation of X-ray transition radiation inside complex radiators, Physics Letters B, **525**, 225 (2002)
- [5] GEANT4 official web-site, <http://GEANT4.web.cern.ch>
- [6] G.M. Garibian and Y. Shi, X-ray Transition Radiation, Erevan (in Russian) (1983).
- [7] V.E. Pafomov, Radiation of a charged particle in the presence of a separating boundary, Trudy Fiz. Inst. P.N. Lebedeva **44**, 28 (in Russian) (1969) [The Lebedev Phys. Inst. Series, Springer **44**, 25 (1971)].

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**РАЗРАБОТКА БЛОКА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЛ  
ГАММА-СКАНЕРА С АНТИКОЛЛИМАТОРОМ**

***Самойлова М. А.<sup>1</sup>, Игнатов С. М.<sup>1</sup>, Потанов В. Н.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> НИЦ «Курчатовский институт»  
+7(985)418-77-63, mariya\_baranova@list.ru

Дистанционно управляемые системы визуализации источников гамма-излучения применяются при реабилитации и обследовании объектов использования атомной энергии, что позволяет существенно уменьшить дозовую нагрузку на персонал, выполняющий эти виды работ. Некоторые из таких систем визуализации созданы на основе принципа сканирования обследуемых объектов коллимированными детекторами излучения [1].

В настоящее время создается устройство визуализации, работающее по принципу сканирования детектором с антиколлиматором. Принцип работы такого гамма-сканера основан на противопоставлении традиционной схеме, когда детектор регистрирует излучение от всех источников, кроме тех, что находятся в так называемой «теневого области», т.е. за антиколлиматором. Под антиколлиматором следует понимать шарообразный или цилиндрический объект из материала высокой плотности, помещенный перед детектором для формирования теневого изображения.

Для регистрации излучения в такой системе был разработан спектрометрический детектор на основе сцинтиллятора CsI(Tl) с кремниевыми твердотельными фотоумножителями [2]. Этот выбор сцинтиллятора обусловлен рядом причин: высоким световыходом, отсутствием гигроскопичности, – что позволяет легко его обрабатывать, а значит, придавать форму, снижающую анизотропию чувствительности детектора. Поэтому сцинтиллятор был изготовлен в форме шара, а его размер определялся из расчета оптимальной загрузки детектора в обследуемых помещениях с дозой порядка 1 мР/ч.

Для минимизации массогабаритных параметров детектора использовались фотоприемники на основе твердотельных

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
кремниевых фотоумножителей. Такие фотоприемники имеют минимальные размеры и вес, и им требуется относительно невысокое напряжение питания. Одной из важнейших характеристик спектрометрического детектора является энергетическое разрешение. В ходе проведения работ была исследована зависимость разрешающей способности системы детектирования от количества применяемых кремниевых фотоприемников размером 3x3 мм для сцинтиллятора объемом 6 см<sup>3</sup>.

Общие геометрические размеры детектора составили Ø40 x 135 мм, а масса не превысила 200 г. Это позволяет создать максимально легкое и мобильное сканирующее устройство.

В ходе работ была проведена оптимизация геометрически значимых параметров системы сканирования для сцинтилляционного детектора указанного выше объема. Такая оптимизация была проведена на основании данных картины изображения источников излучения, полученных путем моделирования работы системы сканирования методом Монте-Карло. Критериями оптимизации являлись частотно-контрастная характеристика и величина отношения сигнал-шум восстановленной картины изображения источников излучения. Восстановление картины теневого изображения осуществлялось методом максимального правдоподобия.

#### Литература

1. Danilovich A.S., et al., New Remote Method for Estimation of Contamination Levels of Reactor Equipment, WM2013 Conference, February 24 – 28, 2013, Phoenix, Arizona, USA, Paper no. 13175.
2. Гасанов А.Г., Головин в.м., Садыгов З.Я., Юсипов Ю.Н., – Письма в ЖТФ, 1990, т.16, вып.1, с.14.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ДЕТЕКТОР НЕЙТРИНО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НА  
РЕАКТОРЕ СМ-3**

**Самчев И.В., Иванов А.В.**

*ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград  
+79278006327., [fire-rokker@mail.ru](mailto:fire-rokker@mail.ru)*

Нейтрино - электрически нейтральная фундаментальная частица со спином  $1/2$ , относящуюся к классу лептонов, участвующую только в слабом и возможно, в гравитационных взаимодействиях. Нейтрино разделяются на три типа: электронное нейтрино, мюонное нейтрино и тау-нейтрино. Также возможно наличие у нейтрино ненулевой массы, но на данный момент точное значение массы пока остаётся неизвестным.

Впервые возможность использовать атомные реакторы в качестве интенсивных и чистых источников для детектирования антинейтрино обсуждал в своей работе Б.М. Понтекорво [1], которому принадлежит много принципиальных идей, определивших направления развития физики слабых взаимодействий и нейтрино. В частности, им был предложен первый, радиохимический метод детектирования нейтрино, в его статьях впервые обсуждалась гипотеза мюон-электронной универсальности слабых взаимодействий и предложение эксперимента по проверке того, что электронное и мюонное нейтрино являются различными частицами, а также была высказана гипотеза осцилляций нейтрино.

Как известно, само экспериментальное открытие нейтрино было сделано Ф. Райнесом и К. Коуэном в эксперименте на атомном реакторе в Саванна-Ривер на территории США в 1956 году. Для регистрации антинейтрино от реактора Райнес и Коуэн использовали реакцию обратного бета-распада. Однако, в 1953 году предшествовал эксперимент тех же авторов на реакторе в Хэнфорде, благодаря которому, несмотря на его отрицательный результат, была осознана принципиальная необходимость защиты от фона космических лучей.

В настоящее время широко обсуждается гипотеза существования стерильного нейтрино с сечением взаимодействия много меньше, чем, например, у электронного антинейтрино. Можно предположить, что из-за перехода реакторных антинейтрино в стерильное состояние будет наблюдаться эффект осцилляций на коротких расстояниях от реактора и дефицит реакторных антинейтрино при большем удалении.

Кроме того, стерильное нейтрино рассматривается как кандидат в темную материю.

Основной целью эксперимента "Нейтрино-4" ставилось детектирование антинейтрино [2], которое происходило благодаря светолуминисцентной реакции возникающей в жидком сцинтилляторе с добавкой гадолиния, путем пролета и аннигиляции в нем позитрона и нейтрона с их дальнейшим распадом на несколько гамма-квантов и выделением энергии в виде света, выделившийся свет детектировался датчиками ФЭУ. Для измерения потока реакторных антинейтрино использовался метод задержанных совпадений, чтобы выделить события обратного бета-распада, в результате которого регистрируется антинейтрино.

Модель детектора и сам детектор были спроектированы и собраны на территории НИЦ КИ ПИЯФ, малая модель детектора была предварительно испытана на реакторе ВВР-М, а сам эксперимент с полномасштабным детектором был проведен на территории АО ГНЦ "НИИЯР" на ИР СМ-3.

Значимость нейтринных экспериментов важна для разных направлений. Например, в нейтринная астрономия. Поскольку на поздних стадиях звёздной эволюции за счёт нейтрино уносится до 90% излучаемой энергии, то изучение свойств нейтрино помогает лучше понять динамику астрофизических процессов. Другим, применением является развиваемая в последнее время нейтринная диагностика промышленных ядерных реакторов. В разных странах ведутся работы по созданию нейтринных детекторов, способных в режиме реального времени измерять нейтринный спектр реактора и тем самым контролировать как мощность реактора, так и комбинированный состав топлива. Ещё потоки нейтрино могут быть использованы для создания средств связи, а также могут использоваться для изучения внутреннего состава Земли.

#### Литература

1. К. Мухин Нейтрино: вчера, сегодня, завтра. Наука и жизнь. № 3,4. (2014).
4. А. П. Серебров и др. О возможности экспериментальной проверки гипотезы о переходах реакторных антинейтрино в стерильное состояние. Письма в ЖТФ. Том 39. Вып.14. С.25 (2013)



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО  
СВЕТОВОХОДА И КИНЕТИКИ СВЕЧЕНИЯ  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ  
МОЛИБДАТА КАЛЬЦИЯ САМОО<sub>4</sub> ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА  
AMORE**

**Семичева М.А.**

*НИЯУ «МИФИ», г.Москва  
89105049433, semicheva.margarita@mail.ru*

Поиск безнейтринного двойного бета-распада ( $0\nu\beta\beta$ ) является в настоящее время одной из центральных задач экспериментальной физики, чье разрешение дало бы ответ на вопрос: является нейтрино дираковской или майорановской частицей [1].

Одним из наиболее перспективных изотопов для поиска  $0\nu\beta\beta$  является изотоп  $^{100}\text{Mo}$  [2]. Он и будет использован коллаборацией AMORE (Advanced Mo-based Rare process Experiment) в виде сцинтилляционного монокристалла молибдата кальция  $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ , в котором природный молибден замещен на изотопно-обогащенный по изотопу  $^{100}\text{Mo}$  [3].

Основные сцинтилляционные параметры монокристаллов  $\text{CaMoO}_4$  - световойход и кинетика высвечивания - играют ключевую роль в успешном осуществлении эксперимента. Работа по их изучению была выполнена в ОАО «Фомос-Материалс», где был создан соответствующий измерительный стенд.

Измеренный зарядовый спектр, полученный при облучении кристалла  $\gamma$ -квантами от радиоактивного источника  $^{137}\text{Cs}$  ( $E_\gamma = 662$  кэВ), записывался на диск компьютера в виде текстового файла ASCII и затем обрабатывался на компьютере пакетом Origin.

Для измерения кинетики свечения образцов сцинтилляционных кристаллов  $\text{CaMoO}_4$  используется установка, состоящая из двух ФЭУ: ФЭУ1 (стартового), соединенного оптической смазкой с кристаллом, и ФЭУ2 (стопового), на катод которого попадают одиночные фотоны сцинтилляции, прошедшие через диафрагму (Рис. 1).

В эксперименте используется метод счета коррелированных во времени фотонов [4]. Регистрируются одиночные фотоны от

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

периодического светового сигнала и измеряется время регистрации отдельных фотонов с последующей реконструкцией формы сигнала.

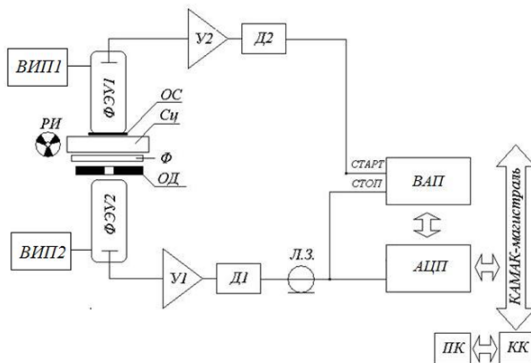


Рис.1. Функциональная схема измерительного стенда для исследования кинетики свечения. РИ – р/а источник  $^{137}\text{Cs}$ ; ФЭУ1 и ФЭУ2-фотоэлектронные умножители; Сц – сцинтилляционный кристалл; ОД – оптическая диафрагма; ОС –оптическая смазка; У1 и У2 – быстродействующие усилители; Д1 и Д2 - дискриминаторы импульсов; ЛЗ – линия задержки; ВАП – время-амплитудный преобразователь; ВИП1 и ВИП2 – высоковольтные источники питания ФЭУ; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; КК – кейт-контроллер КК-009; ПК – персональный компьютер.

### Литература

1. S. Bilenky, C. Giunti, Neutrinoless double-beta decay. A brief review, Mod. Phys. Lett. A 27 (2012) 1230015.
2. A. N. Annenkov, O. A. Buzanov, F. A. Danevich et al., “Development of  $\text{CaMoO}_4$  crystal scintillators for a double beta decay experiment with  $^{100}\text{Mo}$ ,” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, vol. 584, no. 2-3, pp. 334–345, 2008
3. V.V. Alenkov et al., “Growth and characterization of isotopically enriched  $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$  single crystals for rare event search experiments,” Cryst. Res. Technol., pp. 1–6, 2011.
4. Becker W. Advanced Time-Correlated Single Photon Counting Techniques //Dortmund: Springer, 2006.

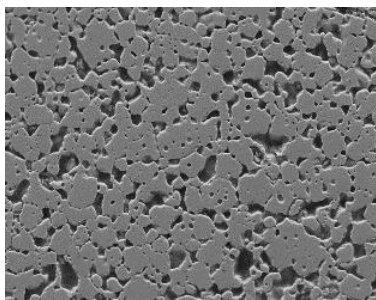
Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ВДОЛЬ  
РАДИУСА ТОПЛИВНОЙ ТАБЛЕТКИ**

*Сорбат Д.М.*

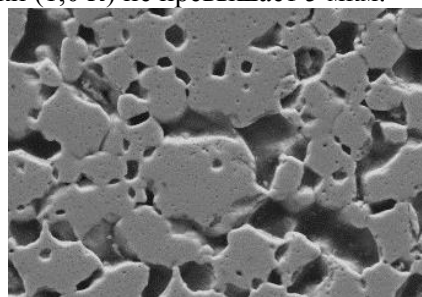
*ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград  
+79510967882, dima.sorbat@mail.ru*

Для исследования смешанного уран-плутониевого нитридного топлива методами сканирующей электронной микроскопии были вырезаны образцы из нижнего и центрального сечения активной части твэлов, чтобы изучить особенности структуры топлива в зонах максимальной (центральная часть) и минимальной температуры (нижняя часть) оболочки. Для оценки характеристик пористости получены изображения микроструктуры на шести участках вдоль радиуса топливных таблеток с различным увеличением [1].

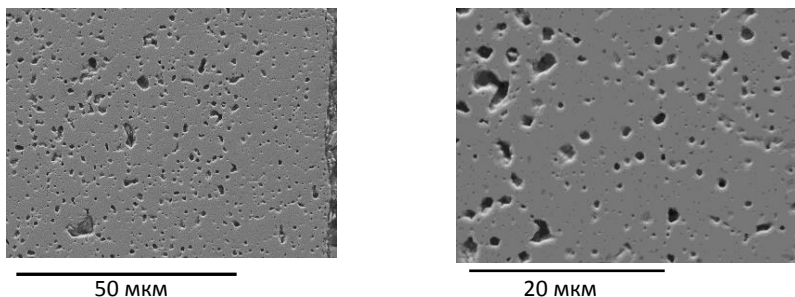
Микроструктура центральной области топливной таблетки образца из середины твэла ( $0,0 R$  на рисунке 1) характеризуется наличием внутриверенных и межзеренных пор, размер которых находится в интервале от  $0,05$  до  $12$  мкм. Крупные поры размером более  $1$  мкм расположены преимущественно вдоль границ зерен, поры размером менее  $1$  мкм встречаются как в теле зерна, так и на его границе. По направлению от центра к краю топливной таблетки количество и размер пор уменьшаются. Максимальный размер пор в краевой области топливной таблетки ( $1,0 R$ ) не превышает  $5$  мкм.



50 мкм



$0,0 R$  20 мкм



1,0 R

Рисунок 1 – Микроструктура топлива в образце из середины твэла вдоль радиуса таблетки при различных увеличениях (0,0R-1,0R – условное обозначение расстояния от центра топливной таблетки, отн.ед)

Для определения значения пористости топлива и построения гистограмм распределения пор была проведена идентификация границ пор на изображениях, полученных с максимальным разрешением и увеличением. В процессе подготовки шлифа возможно «заваливание» краевых участков поры, а в результате особенностей оптической системы микроскопа может наблюдаться размытие границ пор, поэтому выделение пор на изображении проводилось в полуавтоматическом режиме – по совокупности данных, полученных при анализе внешнего вида пор на данном участке и диаграммы распределения уровня яркости по площади изображения [2]. Относительная погрешность определения пористости зависела от размеров пор и составляла от 5 до 12%.

Количественная оценка характеристик пористости топливной таблетки включала проведение следующих операций для каждого из шести участков вдоль радиуса топливной таблетки: выделение всех пор на изображении и определение общей пористости топлива, как отношения суммарной площади сечений пор к общей площади изображения [3].

В качестве примера на рисунке 2 представлено изображение микроструктуры в центральной области топливной таблетки для образца из середины твэла с выделенными порами.

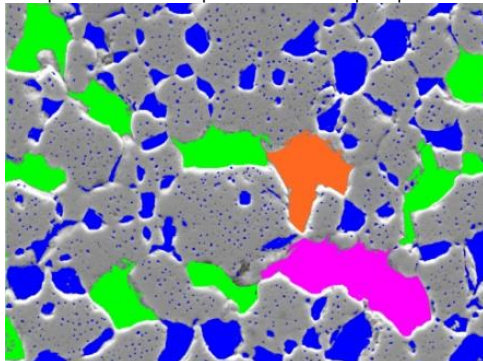


Рисунок 2 – Схема выделения пор на изображении центральной области топливной таблетки (участок  $0,0 R$ ) образца из центра твэла

В таблице 1 представлены результаты расчета пористости вдоль радиуса топливных таблеток для нижнего и центрального сечения твэла, а также средние значения пористости топлива.

Таблица 1 – Общая пористость вдоль радиуса топливных таблеток, %

Положение вдоль радиуса топливной таблетки	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	Среднее по радиусу
низ твэла	24,5	24,3	15,3	13,4	13,3	11,4	14,4
центр твэла	30,5	21,9	24,8	21,7	15,0	8,9	17,9

Значение пористости топлива для двух исследованных сечений твэла увеличивается от поверхности к центру таблеток, что является следствием температурного градиента вдоль радиуса топливной таблетки (температура возрастает при движении от краевой к центральной области топливной таблетки).

В центральной части твэла среднее значение пористости (17,9%) выше по сравнению с нижней частью (14,4%), что закономерно и обусловлено зависимостью процесса формирования пористости от

температурных условий. Это связано с тем, что в структуре исходного не облученного топлива есть технологическая пористость, сформированная на стадии изготовления и необходимая для компенсации напряжений, возникающих в процессе облучения. Под действием нейтронного облучения и высокой температуры, возникающих при выходе реактора на мощность происходит образование мелкой газовой и укрупнение технологической пористости. Формирование газовой пористости в ядерном топливе происходит в результате образования атомов газообразных продуктов деления и объединения их с вакансиями, существующими в кристаллической решетке топлива. Температура ускоряет процессы диффузии и коагуляции газовых атомов и вакансий. Чем выше температура топлива, тем выше скорость формирования пористости.

Известно, что свойства облученных топливных материалов во многом связаны с особенностями их строения. Полученные в настоящей работе данные о закономерностях формирования пористости в уран-плутониевом нитридном топливе в зависимости от рабочей температуры необходимо для понимания и прогнозирования его поведения в твэле и является важным этапом при проведении послереакторных исследований твэлов и оценке распухания топливного сердечника.

#### Литература

1. Уикли Б., Электронная микроскопия для начинающих. – М.: МИР, 1975. – 325 с.
2. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Под общ. ред. Д. Брандон – М. : Техносфера, 2004. – 384 с.
3. Криштал М. М., Ясников И. С., Полунин В. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения / Под общ. ред. М. М. Криштал – М. : Техносфера, 2009. – 208 с.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИИ С РАЗГЕРМИТИЗАЦИЕЙ  
ПЕРВОГО КОНТУРА РЕАКТОРА СКД**

Степанченко К.П.<sup>1</sup>, Авдеев Е.Ф.<sup>1</sup>, Кудрявцева А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Россия  
89106015964, kirill123.stepanchenko@gmail.com

Реакторы при сверхкритическом давлении относятся к реакторам 4-го поколения. Внедрение этой технологии прогнозируется к 2040 г. Их назначение связывают с получением высокотемпературного тепла и наработкой топлива на быстрых нейтронах. Кроме того эти реакторы имеют такие плюсы, как: большой КПД(43-44%); сниженные затраты на собственные нужды при работе реактора; меньшая металлоемкость реакторной установки, по сравнению с другими проектами ВВЭР. Существуют различные схемы охлаждения данных типов реакторов, в основном двухходовая.

Таким образом, целью выполняемой работы является исследование изменения параметров теплоносителя в контуре, в процессе локализации аварии.

Для начала была определена методика нахождения критических расходов для перегретого газа. Из законов сохранения энергии были получены формулы для нахождения изменения давления и

температуры, в объеме реактора, от времени: 
$$\frac{dP}{dT} = \frac{P}{T} \frac{dP}{d\tau} - \frac{G C_p P}{M C_v};$$

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{TdP}{Pd\tau} + \frac{TG}{M} \quad [1].$$

Для пробного расчета был выбран проект реактора ВВЭР-СКД, с параметрами: давление теплоносителя на выходе из реактора – 24,5МПа, температура теплоносителя на выходе из реактора – 540°С, масса теплоносителя – 16000кг, сечение разрыва контура – 0,01м<sup>2</sup>.

В результате расчета мы определили, что через 25,2с в реакторе останется насыщенный пар с параметрами: t=319,3°С, P=11,3МПа, M<sub>тен</sub>=10229 кг.

Графики изменения параметров теплоносителя от времени представлены на рисунках 1 и 2.

В дальнейшем планируется провести расчет истечения двухфазного потока по формулам из пособия [1]. И так же расчет контаймента, в который будет происходить истечение теплоносителя, на прочность.

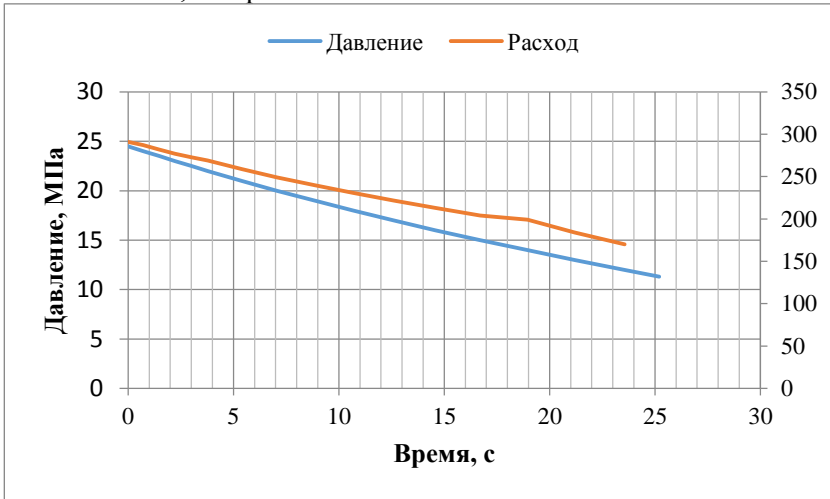


Рис. 1. Падение давления и расхода от времени

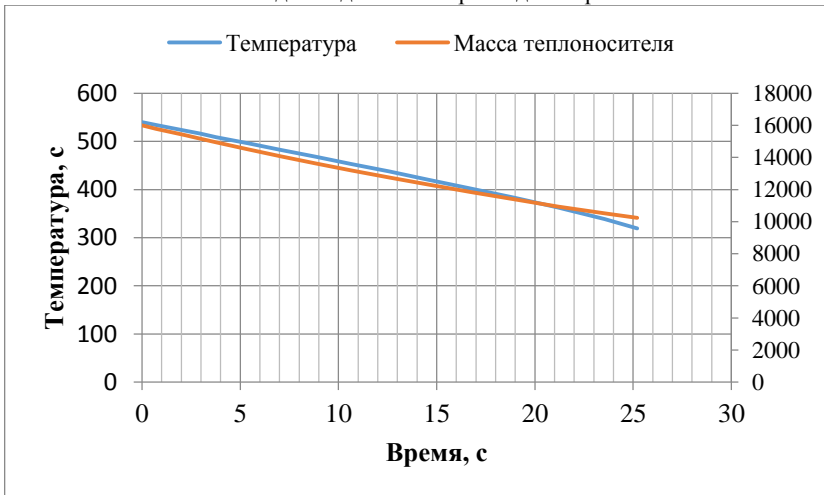


Рис. 2. Падение температуры и массы теплоносителя от времени.



В результате дальнейшего истечения теплоносителя из контура насыщенный газ в активной зоне начнет конденсироваться, и будет происходить истечение двухфазной смеси до того, как не запустится система аварийного охлаждения активной зоны.

Производимая работа покажет сценарий аварии с разгерметизацией первого контура реактора СКД. Такая авария является одной из самых опасных проектных аварий. Если расчеты покажут допустимые последствия аварии, то это подтвердит безопасность таких реакторов, что даст возможность приступить к проектированию опытного, а позже и коммерческого реактора со сверхкритическими параметрами.

#### Литература

1. Е.Ф. Авдеев, Н.Е. Ющенко. Расчет гидравлических характеристик реакторного контура – Обнинск, 2008.
2. С.Л.Ривкин, А.А.Александров. Термодинамические производные для воды и водяного пара – Москва «Энергия», 1977.

## **ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА ИОНОСФЕРУ ЗЕМЛИ В 24-М ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

***Сыроватский С.В.<sup>1, 2</sup>, Веснин А.М.<sup>1, 2</sup>, Едемский И.К.<sup>2, 3</sup>,  
Войков С.В.<sup>2, 3</sup>, Живетьев И.В.<sup>2, 4</sup>***

<sup>1</sup>*Физический факультет Иркутского государственного университета,  
г. Иркутск*

<sup>2</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск*

<sup>3</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический институт,  
г. Иркутск*

<sup>4</sup>*Институт космофизических исследований и распространения  
радиоволн ДВО РАН,  
пос. Паратунка*

+79041463940, [semen.syrovatskiy@gmail.com](mailto:semen.syrovatskiy@gmail.com)

Солнечные вспышки являются одним из самых значимых событий, которые происходят на поверхности солнца. Сама вспышка представляет собой внезапное быстрое выделение энергии, которое проявляется в виде излучения в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, а так же в виде потока частиц (электронов, протонов, тяжелых ядер).

Как правило, интенсивность солнечных вспышек определяют по потоку излучения в рентгеновском диапазоне, получаемому, например, с помощью спутников GOES [5].

Отклик ионосферы на солнечные вспышки может быть детектирован с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) [1]. Эта возможность обусловлена тем, что вспышки приводят к резкому квазисинхронному увеличению ионизации в ионосфере на освещенной стороне Земли, что влечет за собой увеличение полного электронного содержания (ПЭС).

Исследование в данной работе основано на использовании данных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС международной (IGS) и региональных ГНСС сетей (NGS, CHAIN, SONEL, UNAVCO, KASI GDC, Geoscience Australia GNSS Network, GeoNet).

Основной задачей работы являлось оценить, насколько надежно солнечные вспышки можно детектировать на основе данных ГНСС в автоматическом режиме. Так в работе [3] для низкой солнечной

активности показано, что могут быть выявлены эффекты даже слабых вспышек С-класса.

В настоящей работе используется усреднение измерений ПЭС по всем доступным станциям на освещенной стороне Земли, регистрирующих одновременно несколько спутников. Данная методика является аналогом алгоритма когерентного накопления сигнала [2]. На рис.1 приведен пример отклика ионосферы Земли на солнечные вспышки 22 октября 2014 года. Наблюдается явная корреляция по времени между откликом производной вариаций ПЭС (верхняя панель) и увеличением потока рентгеновского излучения (нижняя панель).

В ходе работы было проанализировано более двухсот солнечных вспышек различных классов мощности (Х-класс, М-класс, С-класс) в период с 2014 по 2017 годы. В отдельных случаях на фоне предшествующей достаточно сильной вспышки детектирование слабых вспышек становится практически невозможным. Так же установлено, что амплитуда отклика ПЭС на более слабую вспышку может оказаться больше, чем на более сильную. Данный факт, связан с отличием динамики солнечного радиоизлучения в различных частотных диапазонах. В заключении, следует отметить наличие вариабельности отклика ионосферы на вспышки близкие по мощности.

Автор выражает благодарность научному руководителю Ясюкевичу Ю.В. за помощь в постановке задачи и курирование в процессе работы.

**Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-1097.2017.5.**

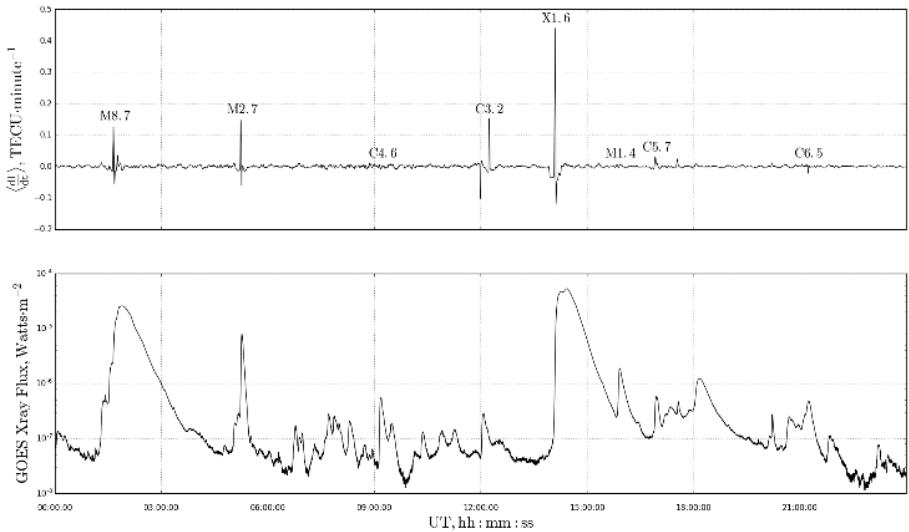


Рис.1. Отклик ионосферы Земли на солнечные вспышки 22 октября 2014 года. Верхняя панель – динамика усредненной по количеству измерений производной вариаций ПЭС (вариации ПЭС отфильтрованы в диапазоне периодов 2-20 минут), нижняя панель – динамика потока рентгеновского излучения (0.05-0.4 нм).

### Литература

Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: Изд-во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006.

Детектирование ионосферного отклика солнечных вспышек по данным глобальной сети GPS / Э.Л. Афраймович [и др.] // Геомагнетизм и аэронавигация. 2001. Т. 41, № 2.

С. 208–214.

Отклик ионосферы на солнечные вспышки С и М классов в январе-феврале 2010 г. / Ю.В. Ясюкевич [и др.] // Космические исследования. 2013. Т. 51, № 2. С. 125–135.

Afraimovich E.L., Demyanov V.V., Smolkov G.Ya. The total failures of GPS functioning caused by the powerful solar radio burst on December 13, 2006 // Earth Planets Space. 2009. Vol. 61. P. 637–641.

GOES I-M Databook. Space System/Loral. 1996. P. 184.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 08X18N10T  
КОРПУСА РЕАКТОРА ПИК**

***Теблев Л.Д.<sup>1</sup>, Ефимов Е.И.<sup>1</sup>, Фридман С.Р.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград

<sup>2</sup> НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, Гатчина  
89297951637, noob.ko.desu@gmail.com

Корпус исследовательского реактора ПИК изготовлен из стали 08X18N10T. Изучены [1] зависимости предельной прочности и условного предела текучести и общего удлинения стали 08X18N10T от повреждающей дозы.

Прочность образцов резко возрастает при малых дозах при температуре испытания 300°C с выходом на некоторое насыщение при повреждающих дозах 5...9 сна. Характеристики пластичности сначала резко уменьшаются (на первой стадии облучения), а затем ростом повреждающей дозы достигают некоторого насыщения.

Настоящая работа посвящена изучению механических свойств необлученных образцов архивного материала корпусной стали 08X18N10T при температурах, возможных во время эксплуатации реактора ПИК. Сравнение свойств образцов - свидетелей после облучения в реакторе ПИК позволит обосновать ресурс эксплуатации корпуса. Свёртка всего массива экспериментальных данных собрана в таблице 1.

В верхних 4-х строках таблицы проставлены значения  $R_m$ ,  $R_{p0.2}$ ,  $A_p$  усреднённые по 5-ти экспериментальным точкам, по которым установлена линейная корреляция типа  $y = a_0 + a_1T$  между механическими свойствами и температурой испытаний.

Таблица 1. Сравнение результатов механических испытаний

T, °C	□ <sub>m</sub> , МПа		□ <sub>0,2</sub> , МПа		□ <sub>p</sub> , %	
	«О»	«П»	«О»	«П»	«О»	«П»
20	56	56		24	70,	
100	9	3		0	9	
170	46	45	236	19	52,	66,1
220	1	7	202	7	4	51,5
	42	42	187	20	35,	35,5
	7	9	193	9	5	27,1
	40	40		22	31,	
	1	0		3	1	
s <sub>x</sub>	4,7	9,5	11,2	28, 3	2,6	4,1
□ <sub>x</sub>	0,8	1,6	4,8	12, 5	3,5	5,9
□ <sub>П</sub> /□ <sub>О</sub>	2,0		2,6		1,7	
a <sub>0</sub>	56	56	233	22	74	70
	9	3		7		
a <sub>1</sub>	-	-	-0,22	-	-	-0,20
	0,82	0,79		0,08	0,21	
R <sup>2</sup>	0,9	0,9	0,803	0,1	0,9	0,997
	31	27		27	80	

Среднеквадратичные ошибки  $s_x$  всех механических характеристик для меридиональных «О» и кольцевых «П» образцов вычислены по текущим измерениям стандартным способом [11, с. 49]. По среднеквадратичным ошибкам  $s_x$  вычислены средние коэффициенты вариации  $\delta_x$  и отношения коэффициентов вариации для соседних столбцов  $\delta_P/\delta_O$ . В трёх последних строках таблицы 2 приведены коэффициенты  $a_0$  и  $a_1$  уравнений линейных графиков и величины  $R^2$  – достоверности аппроксимации. Как видно, и характеристики прочности (временное сопротивление  $R_m$  и предел текучести  $R_{p02}$ ), и характеристики пластичности (равномерное удлинение  $A_p$ ) снижаются с увеличением температуры испытаний. Отношение коэффициентов вариации ( $\delta_P/\delta_O$ ) и величины достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) однозначно указывают на то, что разброс экспериментальных точек относительно линий регрессии гораздо больше для кольцевых образцов, нежели для меридиональных.

Установлено, что средние квадратичные ошибки измерения всех механических свойств кольцевых образцов превышают в несколько раз соответствующие характеристики меридиональных образцов.

Исходя из того, что средняя квадратичная ошибка измерения предела прочности минимальна, рекомендовано по этой характеристике образцов - свидетелей определять расчётное допускаемое напряжение  $[\sigma]$ , которое задаёт толщину обечайки, обеспечивающую безопасную эксплуатацию реакторной установки.

#### Литература

1. В.С. Неустроев, В.Г. Дворецкий, З.Е. Островский и др. «Исследования микроструктуры и механических свойств стали 08X18H10T после облучения в активной зоне реактора взэр-1000». Вопросы атомной науки и техники. 2003. № 3. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (83), с.73-78

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**К ВОПРОСУ О ПОИСКЕ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ  
ИЗВЕСТНЫХ РАДИО ПУЛЬСАРОВ И  
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ГАММА ПУЛЬСАРОВ**

**Тимиркеева М.А.<sup>1</sup>, Малов И.Ф.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ПРАО АКЦ ФИАН, Пуццино  
конт. тел.(4967)-318105, e-mail, marika-ko@yandex.ru

Пульсары играют значимую роль в астрофизике как компактные источники, излучающие в рентгеновском, радио и гамма диапазонах. В настоящее время известно около 3000 пульсаров, включенных в каталог Манчестера [1]. В основном, они излучают в радиодиапазоне, но с запуском КА Fermi-LAT гамма-излучение также было зарегистрировано у 117 новых пульсаров [2]. Мы проведем сравнение некоторых характеристик ( $B_{lc}$ ,  $R_{lum1400}$ ,  $L_\gamma$ ), описывающих три группы: пульсары, излучающие в гамма и радио диапазоне ( $\gamma+R$ ), классические радиопульсары (R) и гамма-пульсаров ( $\gamma$ ). Рассматриваются только изолированные нейтронные звезды, чтобы наблюдаемые характеристики не были подвержены влиянию других близлежащих звезд.

Обнаружена корреляция между светимостями гамма и радиопульсаров (Рис. 1). Пульсары с жестким излучением обладают более высокими значениями магнитной индукции вблизи светового цилиндра и их скорости потери вращательной энергии также заметно больше, чем у обычных радиопульсаров [3-4]. Граничные условия ( $\frac{dE}{dt} > 3 \times 10^{34}$  эрг/сек и  $B_{lc} > 3 \times 10^3$  Гс) взяты достаточно произвольно, но с опорой на полученные в [3-4] распределения. С помощью этих двух критериев можно выделить такие объекты из всей совокупности известных радиопульсаров, у которых с большой вероятностью можно ожидать гамма-излучение. С другой стороны, в каталоге гамма-пульсаров [2] присутствуют источники, которых в настоящее время нет в каталогах радиопульсаров [1]. Часть из них обладает большой гамма-светимостью и, в соответствии с полученной корреляцией светимостей, от них можно ожидать заметное радиоизлучение.



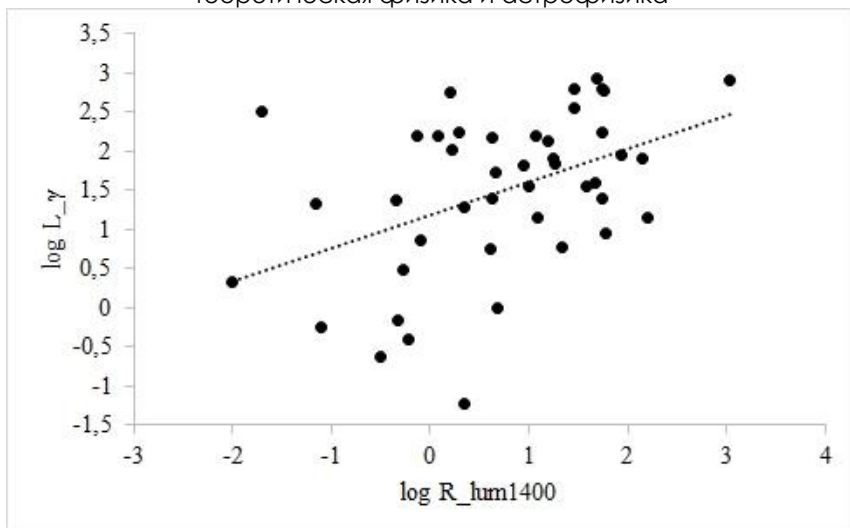


Рис.1. Зависимость гамма светимости пульсаров от их радиосветимости

#### Литература

1. R.N. Manchester, G.B. Hobbs, A. Teoh, M. Hobbs. *Astron.J.*, V. 129, P. 1993,(2005).
2. A.A. Abdo et al, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, V. 208, P. 17, (2013).
3. И.Ф. Малов, М.А. Тимиркеева. *Астрон. Ж.*, Т. 91, С. 706, (2014).
4. И.Ф. Малов, М.А. Тимиркеева. *Астрон. Ж.*, Т. 92, С. 742, (2015).

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИ ПОМОЩИ  
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЭКРАНОВ НА ЛИНЕЙНОМ  
УСКОРИТЕЛЕ ИЯИ РАН**

**Титов А.И.<sup>1,2</sup>, Гаврилов С.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский Физико-Технический Институт  
(Государственный Университет), Москва*

<sup>2</sup> *Институт Ядерных Исследований Российской Академии Наук, Москва  
+79150418906, aleksandr.titov@phystech.edu*

Оптическая диагностика при помощи люминесцентных экранов применяется во многих ускорительных комплексах [1,2]. На линейном ускорителе ИЯИ РАН данный тип диагностики применяется на стенде протонного облучения. При помощи данной системы из изображения двумерного светового пятна, размеры которого практически совпадают с размерами пучка, можно получать информацию о положении центров и поперечных размерах одномерных профилей пучка. Также при помощи люминесцентного экрана можно измерять число частиц в сгустке пучка, что возможно, поскольку световой выход сцинтилляционного экрана линейно зависит от числа частиц, прошедших через экран [3].

В данной работе описывается система регистрации и обработки изображений, приходящих на видеокамеру от люминесцентного экрана, расположенного на пути пучка за облучаемой мишенью. Помимо основных принципов работы в ходе исследования были проведены испытания этой системы во время сеанса работы ускорителя. Пример работы программы обработки изображений во время сеанса приведен на рисунке 1.

В настоящее время ведется работа по модификации программы обработки и создается перископическая система передачи изображений для увеличения светового потока, попадающего на камеру.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

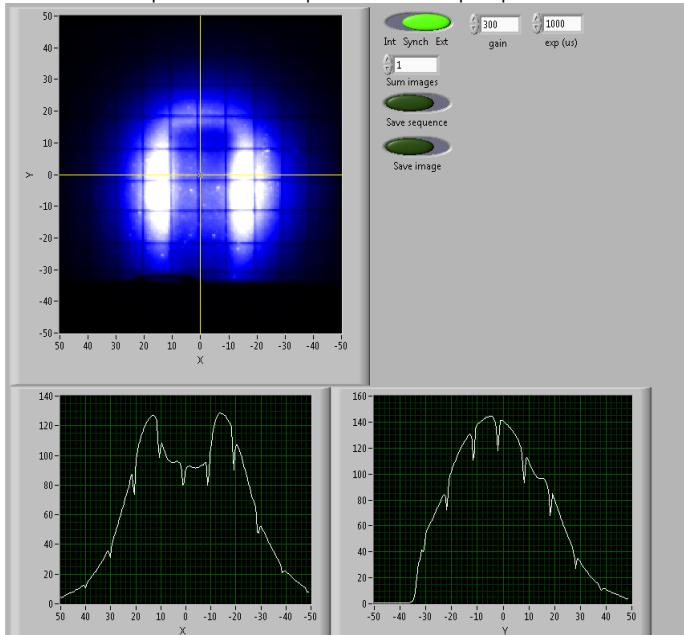


Рис.1. Пример работы программы во время работы стенда протонного облучения.

Литература

1. B. Walasek-Hoehne et al./ Scintillating Screen Applications in Beam Diagnostics Workshop Summary// Proc. of DIPAC11
2. R. Ischebeck et al./ Transverse profile monitors for SwissFEL// Proc. of IBIC2014
3. E. Guetlich et al./ Quantitative scintillation screen studies at GSI\_LINAC and related model calculations// Proc. of DIPAC11

**РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С  
РЕАКТОРОМ ТИПА ВВЭР ПО ПРОГРАММЕ  
ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРА В ГПК ВТОРОГО  
КОНТУРА НА БАЗЕ СЛОЖНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

***Ткачев К.М.<sup>1</sup>, Королев С.А.<sup>1</sup>, Толоконский А.О.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> Национальный исследовательский ядерный  
университет «МИФИ», г. Москва, Россия  
Тел.:8(968)828-27-52, e-mail: spaidi-pank@mail.ru*

Традиционная схема регулирования мощности по программе постоянного давления пара в ГПК второго контура используется в нормальном режиме работы энергоблока. Данная схема представляет собой каскадную АСР [1].

В качестве одного из решений в области альтернативных подходов к регулированию заданного параметра можно рассмотреть двухконтурную схему с дифференциатором во внутреннем контуре замкнутой системы регулирования. Однако, использование микропроцессорной техники в регулировании дает возможность использовать более сложные алгоритмы регулирования. Например, реализацию сложного динамического преобразователя вместо дифференциатора, включающего в себя модель инерционной части объекта регулирования (рис. 1) [2].

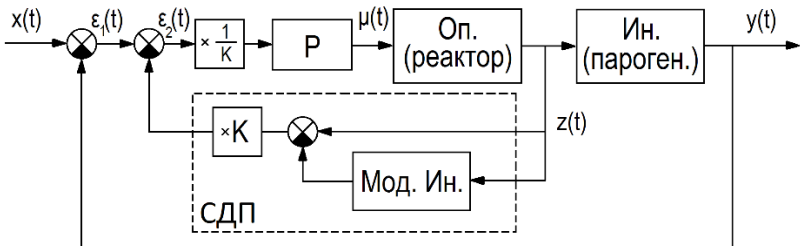


Рис.1. Двухконтурная АСР со сложным динамическим преобразователем

Для того, чтобы учесть нелинейности реактора, как объекта управления, можно использовать нечеткий алгоритм регулирования.

***Литература***

1. В.И. Плютинский, В.И. Погорелов. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок АЭС. Москва: Энергоатомиздат, 1983.
2. В.А. Биленко, И.А. Шавочкин. Анализ эффективности сложных законов преобразования дополнительных сигналов в многоконтурных автоматических системах регулирования энергоблоков. Теплоэнергетика №4, 2006 – С. 57 – 65.
3. Ю.К. Атрошенко, Е.В. Иванова. Автоматизированные системы АЭС: учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
4. Ф. М. Митенков, В. А. Чирков. Система автоматического управления.: учебное пособие. Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2015.

**АНАЛИЗ 27-ДНЕВНЫХ ВАРИАЦИЙ ПОТОКА ГКЛ В  
2007-2008 ГГ. НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА  
PAMELA**

***Троицкая И.К., Майоров А.Г., Малахов В.В., Роденко С.А.***

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ,  
Москва  
+7(917)563-69-43., kote.electric@gmail.com*

Магнитный спектрометр PAMELA измерял различные компоненты космических лучей в диапазоне  $\sim 80$  МэВ/нуклон до десятков ГэВ/нуклон с высоким энергетическим разрешением в период с июня 2006 г. по январь 2016 г. В работе производится анализ 27-дневных вариаций потока галактических протонов и гелия [1] в период 2007-2008гг. Данные спектрометра проанализированы с использованием вейвлет-преобразований [2]. В результате проведённого анализа временных рядов потока протонов с различными энергиями построены амплитудные скалограммы (зависимости амплитуды сигнала от времени и частоты сигнала) для различных жёсткостей частиц. Для выбранного диапазона частот, соответствующего периоду  $\sim 27$  дней, применен метод доминирующих амплитуд, который позволил определить максимальную амплитуду колебаний потока протонов во времени в указанном временном диапазоне. Обнаружено, что доминирующая амплитуда достигается в период с 01.09.2007 по 01.02.2008 со значением  $\sim 6\%$ .

Построена зависимость доминирующей амплитуды от жёсткости частиц. При жёсткостях выше  $\sim 1$  ГВ она подчиняется падающему степенному закону, что согласуется с современными теоретическими представлениями [3]. Однако, в области жесткостей 0.3 – 0.7 ГВ обнаружено отклонение от теории: амплитуда оказывается меньше теоретического предсказания. Этот результат, основанный на анализе данных экспериментов PAMELA и АРИНА, подтверждается аналогичным анализом независимых измерений на космических аппаратах Stereo.

Литература

1. Guo, X., and V. Florinski (2014), Corotating interaction regions and the 27 day variation of galactic cosmic rays intensity at 1 AU during the cycle 23/24 solar minimum, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 2411–2429, doi:10.1002/2013JA019546.
2. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.
3. On the rigidity spectrum of the 27-day variation of the galactic cosmic ray intensity in different epochs of solar activity. Agnieszka Gil, Michael V. Alania

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**АНАЛИЗ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ  
КОМПОЗИЦИЙ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК IV  
ПОКОЛЕНИЯ**

**Украинец О.А., Кузнецова М.Е., Атовуллаев Т.А.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, Томск  
8-906-955-22-38, lesyaukrainets@gmail.com*

В настоящее время ведутся различные научно-исследовательские работы по внедрению в традиционный уран-плутониевый топливный цикл реакторных установок IV поколения. Внедрение новых реакторных технологий влечет за собой необходимость разработки новых процедур и регламентов обращения с облученным топливом в ядерном топливном цикле.

Предполагается, что реакторы IV поколения в отличие от предыдущих будут иметь не только большую эффективность, будут более безопасны, они также будут применять замкнутый ядерный топливный цикл, что позволит использовать уже отработавшее топливо. Эти реакторные установки будут использоваться не только для производства электричества, но также и в промышленности, где требуются высокие температуры.

В рамках данной работы проводится расчет дозовых характеристик топливных композиций высокотемпературной газоохлаждаемой ториевой реакторной установки ВГТРУ [1]. Проведен обзор проектов инновационных ядерных систем IV поколения, а также выбраны перспективные зарубежные установки для дальнейшего сравнения их радиационных характеристик с установкой ВГТРУ.

Литература

1. Беденко С. В. , Кнышев В. В. , Зорькин А. И. , Украинец О.А. Ядерно-физические особенности применения керамического топлива в ВТГР малой мощности // XV Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа: сборник аннотаций, Москва, 14-17 Ноября 2017. - Москва: Курчатовский институт, 2017 - С. 24



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**МОДЕЛЬ МУЛЬТИСЕКТОРНОГО  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА В GEANT4**

**Унатлоков И.Б.**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва  
8-968-685-68-42, ibunatlokov@mephi.ru*

В НИЯУ МИФИ создаётся установка НЕВОД-ШАЛ [1] для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) совместно с другими детекторами ЭК НЕВОД. В настоящее время развернута центральная часть установки. Общая площадь установки составит  $\sim 2 \times 10^4 \text{ м}^2$ . Для дальнейшего расширения установки был разработан мультисекторный сцинтилляционный детектор частиц ШАЛ [2].

Мультисекторный сцинтилляционный детектор (рис. 1а) состоит из восьми трапециевидных сцинтилляционных сборок, расположенных в форме восьмиугольника. Общая площадь детектора составляет  $1 \text{ м}^2$ . Сцинтилляционная сборка состоит из двух сцинтилляционных пластин толщиной 2 см, между которыми расположен слой силикона с вклеенными спектросмещающими волокнами-файберами диаметром 1 мм (WLS fibers Y11 фирмы Kuraray, рис. 1б). Пучок волокон сводится на фотокатод ФЭУ в центре детектора.

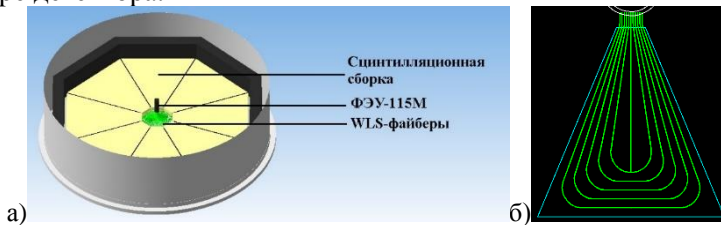


Рис. 1. а) Мультисекторный сцинтилляционный детектор; б) расположение WLS-файберов внутри слоя силикона.

С помощью программного пакета Geant4 [3] написана программа моделирования отклика ФЭУ, в основу которой заложены экспериментально измеренные спектры одноэлектронных сигналов и одноэлектронный джиттер, задана геометрия детектора, используемые материалы и их свойства.

Проведено моделирование отклика детектора на прохождение через рабочую область одиночных мюонов с различными зенитными углами. Площадь сборки была разбита на ячейки  $2 \times 2$  см<sup>2</sup>. Для каждой ячейки проводился расчет среднего отклика детектора и строилась матрица средних зарядов откликов («мюонограмма»). На рис. 2 показаны результаты экспериментальных измерений на мюонном годоскопе УРАГАН [4] (неоднородность ~18%, 50 событий на ячейку, рис. 2а) и результаты моделирования (неоднородность ~24%, ~100 событий на ячейку, рис. 2б).

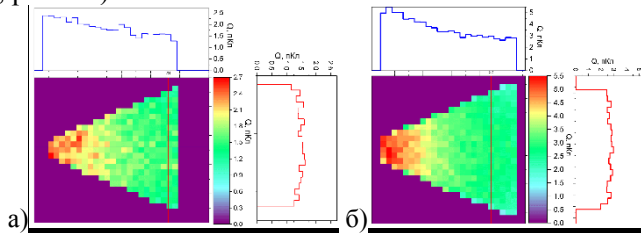


Рис. 2. «Мюонограммы» сцинтилляционной сборки: а) экспериментальное измерение; б) моделирование.

Одной из основных задач модельных экспериментов является подбор корректирующей «маски» для обеспечения равномерности светосбора.

Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД.

#### Литература

1. И.А. Шульженко, М.Б. Амельчаков, Н.С. Барбашина и др. Проект установки НЕВОД-ШАЛ для регистрации широких атмосферных ливней. Известия РАН. Серия физическая. 2013. Т. 77. № 5. С. 710.
2. N.V. Ampilogov et al. 2017. JINST. V. 12. C07004.
3. <http://geant4.web.cern.ch> – официальный сайт разработчиков Geant4 (дата обращения 07.03.2018).
4. Н.С. Барбашина и др. Широкоапертурный мюонный годоскоп большой площади УРАГАН. ПТЭ. 2008. № 2. С. 26.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ДЕТЕКТОР NEW CHOD ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА NA62**  
**(CERN)**

***Федотов С.А<sup>1</sup>, Куденко Ю.Г.<sup>1,2,3</sup>***

<sup>1</sup> ИЯИ РАН

<sup>2</sup> НИЯУ МИФИ

<sup>3</sup> МФТИ ГУ

+7-916-161-41-95, fedotov@inr.ru

Основной целью эксперимента NA62 [1] является изучение сверх редкого каонного распада ( $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ). Этот распад сильно подавлен и точно рассчитывается в Стандартной Модели, поэтому экспериментальное измерение вероятности распада может позволить как проверить саму Стандартную Модель, так и получить данные о новой физике за её рамками. В настоящее время в эксперименте E949 зарегистрировано 7 таких распадов [2,3], что не позволяет произвести проверку предсказаний Стандартной Модели. В эксперименте NA62 планируется достигнуть 10% точности измерений. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

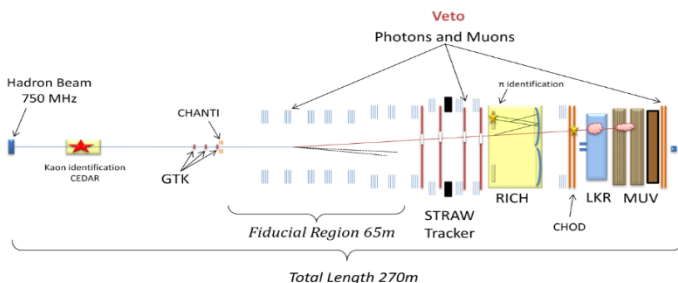


Рис. 1. Схема эксперимента NA62

Установка NA62 состоит из большого количества детекторов. Один из них: годоскоп заряженных частиц (New CHOD), обеспечивающий наложение вето на огромное количество мюонных распадов. New CHOD имеет сегментированную структуру и состоит из пластиковых сцинтилляторов разного размера, охватывающих площадь вокруг пучка. Детектор должен работать в режиме высокой интенсивности с разумной скоростью

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
счета на один канал, а также обеспечивать высокое временное разрешение.

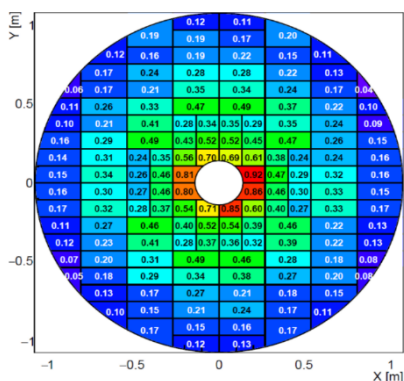


Рис. 2. Загрузка детектора New CHOD (в МГц) при номинальной интенсивности пучка

В настоящее время осуществлена полная сборка детектора New CHOD, произведена его установка на пучке ускорителя SPS, также New CHOD включен в триггерную систему эксперимента NA62. В работе представлены основные характеристики детектора New CHOD (загрузка, временное разрешение и эффективность регистрации детектором заряженных частиц), которые были определены после установки детектора на пучок.

### Литература

1. E. Cortina Gil, S. Fedotov et. al (NA62 Collaboration) The beam and detectors of the NA62 experiment at CERN // Journal of Instrumentation. — 2017. — Vol. 12, no. 05. — P. P05025.

2. A.V. Artamonov et al. (E949 Collaboration). Phys.Rev.Lett. 101 (2008) 191802.

3. A.V. Artamonov et al. (E949 Collaboration). Phys.Rev. D79 (2009) 092004.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**СПЕКТРАЛЬНО-УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СГУСТКОВ В СХЕМЕ  
КОМПТОНОВСКОГО ЛАЗЕРА**

**Фещенко А.М.<sup>1, 2</sup>, Тищенко А.А.<sup>1, 2</sup>, Стриханов М.Н.<sup>1</sup>**

*1 Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва*

*2 Национальный исследовательский центр «Курчатовский  
институт», Москва*

Наиболее яркие источники рентгеновского излучения, как известно, реализуются на основе излучения пучков заряженных частиц. В зависимости от требуемого диапазона рентгеновской части спектра используются различные схемы генерации излучения. Так, чрезвычайно высокой спектральной яркостью в широком частотном диапазоне обладает синхротронное излучение. В вакуумном ультрафиолетовом и мягком рентгеновском диапазоне последние несколько лет несомненным лидером стали лазеры на свободных электронах. В области собственно рентгеновского излучения в районе МэВных, а точнее говоря, начиная с  $\gamma\omega_p$  ( $\gamma$  - Лоренц-фактор частиц,  $\omega_p$  - плазменная частота), энергий фотонов лидирует механизм тормозного излучения. Максимальную интенсивность в жестком рентгеновском диапазоне показывают когерентное тормозное излучение и излучение при каналировании, имеющие место при прохождении пучков заряженных частиц через кристалл.

Важно отметить, что во всех перечисленных выше механизмах принципиальную роль играет возможность задействования когерентного эффекта в излучении, обусловленного тем, что основной вклад в интенсивность при некоторых условиях начинает вносить не линейное по числу частиц сгустка слагаемое, а квадратичное. Этот эффект очень ярко выражен для современных ускорителей, где число частиц в сгустках достигает  $10^{12}$  и выше.

Самым перспективным в широком спектре частот рентгеновского диапазона является источник рентгеновского излучения, основанный на эффекте обратного Комптоновского рассеяния. Изначально, было предложено использовать данное

явление как источник гамма-излучения для целей ядерной физики. Идея принадлежит Е. Feenberg (1948) [1], и впоследствии она была развита в работах R. Milburn [2], О. Куликова [3], Ф. Арутюняна и В. Туманяна [4]. Начиная с 90-х годов прошлого века, ведутся разработки комптоновских источников по всему миру, однако в силу ряда трудностей, зарегистрированное экспериментально излучение такого рода на много порядков слабее предсказываемого теоретически. Поэтому исследования данного механизма рентгеновского излучения не теряют актуальности.

В данной работе, в рамках классической электродинамики мы исследуем эффекты когерентности в излучении на основе обратного комптоновского механизма, возникающего при рассеянии электромагнитной волны на ультрарелятивистских электронных сгустках. Построена последовательная теория рассеяния сгустков высокоэнергетических электронов на низкочастотной электромагнитной волне, а также проведен анализ свойств возникающего излучения.

Один из авторов (АФ) благодарен за поддержку ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.616.21.0086.

#### Литература

1. E. Feenberg, H. Primakoff, Applications for Nuclear Phenomena Generated by Ultra-Intense Lasers, *Phys. Rev.* **73**, 449 (1948).
2. R. Milburn, Electron Scattering by an Intense Polarized Photon Field, *Phys. Rev. Lett.* **10**, 75 (1963).
3. O.F. Kulikov, Yu.Y. Tel'nov, E.I. Filippov, M.N. Yakimenko, Compton effect on moving electrons, *Physics Letters* **13**, 344 (1964).
4. F.P. Arutyunyan, V.A. Tumanyan, The Compton Effect on Relativistic Electrons and the Possibility of Producing Beams of Hard  $\gamma$ -Rays, *Sov. Phys. JETP* **17**, 1412 (1963).

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ СКАНЕР ДЛЯ КОНТРОЛЯ  
КАЧЕСТВА И ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ  
МЮОННОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS**

***Филиппов К.А.<sup>1,2</sup>, Воробьев К.А.<sup>1</sup>, Доронин С.А.<sup>1,2</sup>, Коновалов С.П.<sup>2</sup>, Романюк А.С.<sup>1</sup>, Смахтин В.П.<sup>3</sup>, Смирнов С.Ю.<sup>1</sup>, Сосновцев В.В.<sup>1</sup>, Тетерин П.Е.<sup>1</sup>, Тихомиров В.О.<sup>2</sup>, Шоа М.<sup>3</sup>, Щукин Д.А.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии  
наук, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Научно-исследовательский институт имени Вейцмана, Реховот,  
Израиль*

*E-mail: [kafilippov@mephi.ru](mailto:kafilippov@mephi.ru) Моб. тел.: 8-926-384-75-59*

Актуальность работы В рамках выполнения первой фазы программы модернизации детекторов установки АТЛАС будет проведена замена первой станции мюонного спектрометра АТЛАС. Создаваемое Новое Малое Колесо (НМК) должно работать в условиях повышенного радиационного фона (до 15 кГц/см<sup>2</sup>), реконструируя треки мюонов с высокой точностью, а также обеспечивая трековую информацию для триггера 1-го уровня. Детектор НМК будет использовать две технологии камер: одна из них предназначена главным образом для обеспечения функции первого уровня триггера – это тонкоззорные газовые ионизационные камеры (sTGC), а вторая должна обеспечивать прецизионное восстановление треков – микроячеистые газовые ионизационные камеры (MicroMegas) [1].

Контроль качества сборки детекторов sTGC является критическим компонентом процесса производства, от которого зависит дальнейшая судьба их работы и эксперимента в целом. Камера sTGC Малого Мюонного Кольца детектора ATLAS состоит из 4 слоёв (т.н. квадруплет), которые в процессе сборки склеиваются. Поэтому внутренние компоненты детектора становятся недоступными, и, следовательно, качественная диагностика проблем на самых ранних стадиях является неотъемлемой частью производственного процесса.

Стенд контроля качества новых мюонных детекторов представляет собой автоматизированный рентгеновский сканер, состоящий из жесткой сварной рамы, смонтированной на ней координатной системы, шкафа управления сервоприводами, источника рентгеновского излучения (рентгеновской трубки) с коллиматорами и специализированного программного обеспечения для управления всеми компонентами сканера [2], обработки получаемых данных и визуализации результатов анализа. Установка осуществляет сканирование рентгеновским пучком поверхности детекторов (обеспечивая максимальную область сканирования 2220x1410 мм) с целью выявления и локализации производственных дефектов и определения рабочих характеристик детекторов [3]. В конструкции сканера используется рентгеновская трубка с блоком питания и управления производства фирмы Amptek (США), шаговые двигатели, редукторы и модули горизонтального перемещения производства фирмы Purelogic (Россия) и линейный вертикальный актуатор INA (Германия).

Цель Отработка экспериментальной методики для системы контроля качества газовых детекторов sTGC с помощью широкоапертурного рентгеновского сканера.

Практическая значимость работы Система контроля качества, которая должна выявлять возможные дефекты камер с точки зрения равномерности газового усиления по площади камер, обнаруживать зоны нестабильности высокого напряжения, контролировать токи утечки, осуществлять проверку точностей изготовления и сборки камер, определять взаимное расположение слоев детектора при склейке в дублет, угловой сдвиг, а также различные неоднородности – как в виде дефектных областей, так и в виде неоднородности газового зазора [4,5].

Основные источники

1. ATLAS New Small Wheel Technical Design Report. CERN-LHCC-2013-006, ATLAS-TDR-20-2013, June, 2013.

2. V.O.Tikhomirov et al. Visualization tool for X-ray scanner for sTGC detector production quality control. Journal of Physics: Conference Series, 675 (2016) 012018.

3. K.A.Filippov et al. Gas mixtures for quality control of the sTGC chambers. Journal of Physics: Conference Series, 675 (2016) 012024

4. P.E.Teterin et al. Development of scanning technique for sTGC detectors production quality control. Journal of Physics: Conference Series, 675 (2016) 012015.



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**РАЗРАБОТКА АМПУЛЬНОГО УСТРОЙСТВА  
С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ  
ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТВЭЛОВ РЕАКТОРА БРЕСТ-ОД-300  
В КАНАЛЕ РЕАКТОРА МИР.М1**

**Фирсов Г.А.<sup>1</sup>, Ефимов Е.И.<sup>1</sup>, Игаев А.Ю.<sup>1</sup>, Тебелев Л.Д.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград  
+79278337170, gafirsov@mail.ru

БРЕСТ – энергоблок с быстрым реактором со свинцовым теплоносителем и мононитридным уран-плутониевым топливом. РУ предназначена для практического подтверждения основных технических решений, применяемых в РУ со свинцовым теплоносителем в соответствии с концепцией естественной безопасности, и обоснования ресурсных характеристик элементов РУ для создания коммерческих АЭС с реакторными установками такого типа [1].

На стадии разработки проекта одним из необходимых условий является проведение испытаний топливных элементов БРЕСТ. В существующем проекте БРЕСТ предполагается использование твэлов трех различных диаметров (9,1; 9,6; 10,4 мм) [2].

Цель работы: разработка экспериментального устройства с помощью трехмерного моделирования для проведения испытаний твэлов реактора БРЕСТ-ОД-300 в петлевой установке реактора МИР.М1, а также проведение теплофизических расчетов для обоснования использования данных экспериментальных устройств, обеспечивающих требуемые параметры испытаний.

Методы исследования: аналитический метод теплогидравлического расчета, трехмерное расчетное моделирование SolidWorks Flow Simulation.

Для проведения ампульных испытаний твэлов реактора БРЕСТ с естественной циркуляцией теплоносителя разработана расчетная трехмерная модель (3D-модель) экспериментального устройства, на основе которой выполнены теплогидравлические расчёты. На рисунке 1 показана 3D-модель ЭУ с твэлами.



Рис.1. 3D-модель экспериментального устройства в разрезе

Мощность, количество и шаг витков секций электронагревателя, получены при проведении предварительных расчетов в среде SolidWorks при выборе геометрии ампульного устройства.

При проведении расчетов были рассмотрены следующие конструкции твэлов:

1. Твэлы с разным диаметром оболочки: 9,1; 9,6; 10,4 мм;
2. Твэл диаметром 9,1 мм: без зазора между топливом и оболочкой, с зазором заполненным гелием, зазором заполненным свинцом;
3. Размещение АУ в петлевом канале реактора МИР заполненного: водой или газом (азот) [3].

Полученные расчетные данные показали, что ампульное устройство с твэлами диаметром 9,1 мм и зазором между топливным сердечником и оболочкой твэла, заполненным свинцом, имеет самые приближенные значения к условиям, которые требуются для твэлов реактора БРЕСТ

Предложенная конструкция ампульного устройства и результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы при подготовке и проведении реакторного эксперимента твэлов реактора БРЕСТ в ПУ ПВ-1 реактора МИР.М1

#### Литература

1. БРЕСТ: Быстрый реактор со свинцовым теплоносителем и пристанционным топливным циклом: Российское атомное сообщество [Электронный ресурс] – URL: <http://www.atomic-energy.ru> (дата обращения: 10.12.2017).
2. Старков, В.А. Основы анализа ядерного топливного цикла (внутренний топливный цикл): учебное пособие / В.А. Старков, В.А. Красноселов. – Дмитровград : ДИТУД УлГТУ, 2007. – 125 с.
3. Отчёт по обоснованию безопасности РУ МИР.М1. – Дмитровград : ГНЦ РФ НИИАР, 2015. – 593 с.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
СНИЖЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЗАТРАТ НА АЭС ПРИ  
РЕАЛИЗАЦИИ УДЛИНЕННЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ  
РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000(1200)**

*Хашламун Таха М.Р.<sup>1</sup>, Выговский С.Б.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, Москва

<sup>2</sup> НИЯУ МИФИ, Москва

+79161483435, tahashlamoona@yahoo.com

Топливный цикл ЯЭУ с реактором ВВЭР затрагивает много аспектов, касающихся реакторной физики, технологии добычи, обогащения урана, изготовления топливных элементов (ТВЭЛ) и тепловыделяющих сборок (ТВС) для активной зоны, их транспортировки, хранения и переработки топлива. В проведенных исследованиях, результаты которых представлены в настоящей работе, акцент сделан на исследовании возможности повышения экономичности использования топлива на АЭС для удлиненных топливных кампаний при переходе с 12-месячного топливного цикла на 18-месячный при реализации открытого топливного цикла.

В открытом топливном цикле экономичность топливного использования на АЭС определяется, в первую очередь, величиной энерговыработки электрической мощности за весь срок эксплуатации корпусного оборудования, отнесенной к затратам на изготовление корпусного оборудования, плюс эксплуатационные расходы при работе энергоблока на мощности и затраты на проведение перегрузки топлива и ремонтных работ во время перегрузочного интервала времени, и плюс затраты на изготовление топлива и ТВС, израсходованных за этот же срок службы корпусного оборудования. При этом должны быть учтены потери в энерговыработке за счет времени из-за возможного простоя за счет более короткой кампании, чем проектная при установленном топливном цикле. В работе получены оценки коэффициента приведенных эксплуатационных затрат по отношению к затратам при реализации 12-месячного цикла. Коэффициент выглядит следующим образом:

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

$$K_{\text{ин}} = \frac{1 + \alpha \frac{32}{T_{\text{эфф}}} + \beta_0 \frac{N_{\text{пер0}} N_{\text{ТВС}} M_{\text{топ}}}{N_{\text{пер00}} N_{\text{ТВС0}} M_{\text{топ0}}} (0.7 + 0.3 * \frac{n\%}{n_0\%}) \frac{\Delta T}{T_{\text{эфф}}}}{1 + \alpha \frac{32}{T_{\text{эфф0}}} + \beta_0 \frac{\Delta T}{T_{\text{эфф0}}}}$$

Для сопоставления были рассмотрены два варианта реализации 18-месячного топливного цикла: вариант с использованием 67 ТВС со стандартным топливом для серийного реактора (3700мм –высота топливного столба и диаметр центрального отверстия 1.2мм, масса металлического топлива 464кг, среднее обогащение подпитки 4.71) и вариант с использованием 61 ТВС с нестандартным для серийного реактора ВВЭР-1000 топливом (3750мм –высота топливного столба и диаметр центрального отверстия 0.0мм, масса металлического топлива 481кг, среднее обогащение подпитки 4.80%, <sup>[1]</sup>). 1-ый вариант загрузки и схемы перегрузок топлива взят на основе проектных данных, используемых сейчас на действующих АЭС, но несколько отличающихся от них с целью увеличения средней глубины выгорания, уменьшения неоднородности выгорания для выгружаемого топлива и уменьшения флюенса быстрых нейтронов на корпус в наиболее уязвимых областях корпуса.

Были построены зависимости приведенного коэффициента затрат для обоих указанных выше вариантов от величины дозовых затрат во время перегрузки  $\alpha$  и доли топливной составляющей в эксплуатационных затратах  $\beta_0$ . Из этих зависимостей следует, во-первых, что 18-месячный цикл для реактора ВВЭР-1000 экономичней, чем 12-месячный, и во-вторых, для 2-го варианта при использовании 61 ТВС эксплуатационные затраты заметно меньше, чем для 1-го варианта при использовании 67 ТВС.

Были проведены расчеты по программному комплексу ПРОСТОР <sup>[2]</sup> для указанных выше параметров 18-месячного цикла с обоснованием теплотехнической безопасности выбранных топливных загрузок и схем перегрузок топлива.

Литература

1. Семченков Ю., Павловичев А., Чибиняев А. Близость к сценарию. Перспективы эволюционного развития топлива ВВЭР. Росэнергоатом, 2011, вып № 10.
2. Программный комплекс ПРОСТОР (версия №1). Аттестационный паспорт ПС ПРОСТОР №182 от 18.10.2004года. РОСТЕХНАДЗОР РФ.

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ВОКРУГ СКВАЖИНЫ  
ПРИ НАЛИЧИИ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА**

**Хисамов А.А.<sup>1</sup>, Хабибуллин И.Л.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Башкирский государственный университет, город Уфа  
8 (917) 469-62-63., khisamovartur@list.ru*

Гидравлический разрыв пласта, заключающийся в создании трещин, пересекающихся со скважинами, в настоящее время является одним из основных методов интенсификации добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов. Наличие трещин гидроразрыва приводит к существенным изменениям динамики процесса фильтрации в отличие от случаев их отсутствия. Поэтому является актуальным математическое моделирование процессов фильтрации в окрестности скважин с трещинами гидроразрыва [1].

Коллектора с трудноизвлекаемыми запасами, как правило, характеризуются малой проницаемостью и большой вязкостью нефти. В таких коллекторах, в которых в основном и реализуется гидроразрыв пласта, продолжительность нестационарных процессов перераспределения давления может быть одного порядка с характерным временем фильтрации между скважинами [2,3]. Поэтому представляет интерес развитие теории нестационарной фильтрации в пластах с трещинами ГРП.

В пласте, насыщенном однородной жидкостью, имеется скважина, которая пересекается симметричной вертикальной трещиной гидроразрыва по всей толщине пласта. Гидравлическая связь пласта и скважины реализуется только через боковую поверхность трещины, так как ширина трещины намного меньше чем ее длина.

Распределение давления в трещине и в пласте в случае, когда на скважине задается постоянный дебит, имеет вид:

$$\bar{P}_f(\bar{x}, \bar{t}) = -\frac{2b\sqrt{\bar{t}}}{\sqrt{a}\sqrt{\pi}} \int_0^1 e^{-\frac{\bar{x}^2}{4a\bar{t}z^2}} \operatorname{erfc} \frac{z^2 b \bar{t}}{2\sqrt{\bar{t}(1-z^2)}} dz. \quad (1)$$

$$\bar{P}_r(\bar{x}, \bar{y}, \bar{t},) = -\frac{2b\sqrt{\bar{t}}}{\sqrt{a}\sqrt{\pi}} \int_0^1 e^{-\frac{\bar{x}^2}{4a\bar{t}z^2}} \operatorname{erfc} \frac{z^2 b \bar{t} + \bar{y}}{2\sqrt{\bar{t}}(1-z^2)} dz. \quad (2)$$

Здесь  $a = \frac{\kappa_f}{\kappa_r}$ ,  $b = a \frac{k_r x_f}{k_f w_f}$ ,  $\bar{P}_r = \frac{P_r - P_0}{P_c - P_0}$ ,  $\bar{P}_f = \frac{P_f - P_0}{P_c - P_0}$ ,  $\bar{x} = \frac{x}{x_f}$ ,  $\bar{y} = \frac{y}{x_f}$ ,  $\bar{t} = t \frac{\kappa_r}{x_f^2}$ .  $\kappa_f$ ,  $\kappa_r$ ,  $k_f$  и  $k_r$  – коэффициенты пьезопроводности и проницаемости трещины и пласта,  $x_f$  – половина длины трещины,  $P_c$  – давление на скважине,  $P_0$  – начальное давление в пласте и в трещине, индексы  $f$  и  $r$  – относятся к трещине и пласту.

Разработанная в работе модель нестационарной фильтрации в пластах с трещиной ГРП позволяет определить влияние коллекторских свойств пласта и трещины на распределение давления и может быть использована при теоретическом обосновании методов гидродинамических исследований пластов.

#### Литература

1. Р.Д. Каневская Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. -212с.
2. H. Cinco-Ley, V.F. Samaniego Transient Pressure Analysis for fractured wells // J. Petrol. Technol. – 1981. –V.33, N9. – P. 1749-1766.
3. И.Л. Хабибуллин, Н.А. Евграфов, Хисамов А.А. Моделирование нестационарного притока жидкости из пласта в скважину через трещину гидроразрыва. Сборник трудов Первой летней школы-конференции «Физико-химическая гидродинамика: модели и приложения». 2016. Уфа: РИЦ БашГУ. С. 184-192

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ И АМАД $\alpha$ -АКТИВНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ**

*Хусейн Ю. Н.<sup>1</sup>, Припачкин Д. А.<sup>1</sup>, Будыка А. К.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>НИЯУ «МИФИ», г.Москва*

Предложена новая экспериментальная установка для определения объемной активности и активностного медианного аэродинамического диаметра (АМАД)  $\alpha$ -активных радионуклидов. Проведена оценка спектрометрических и радиометрических характеристик  $\alpha$ -излучающих радионуклидов плутония и выполнен расчет АМАД для  $^{239}\text{Pu}$ , с учетом ошибки оценки активности. Расчетные значения активности изотопов плутония в составе специальных аэрозольных источников (САИ), полученные с помощью экспериментальной установки, сравнивали со значениями, полученными на приборах МКС-01А и УМФ-2000. Выполнена оценка относительной ошибки определения АМАД с помощью экспериментальной установки.

Экспериментальная установка состоит из разделительной части, камеры детектирования, в которой установлен ионно-имплантированный кремниевый детектор заряженных частиц ДК-500, фильтра, ротаметра, насоса и соединительных трубопроводов. Альфа активность определяли с помощью спектрометра МКС-01А «МУЛЬТИРАД-АС» и радиометра УМФ-2000.

Исследованы спектры  $\alpha$ -излучения, определена эффективность регистрации и рассчитана активность образцового источника «тип 1П9» на основе  $^{239}\text{Pu}$  с активностью 80.7 Бк и специальных аэрозольных источников  $\alpha$ -излучения (САИ) на основе  $^{239}\text{Pu}$  с активностью 119 и 112 Бк. Результаты исследований эффективности регистрации  $\alpha$ -частиц сравнивали с данными, полученными с помощью МКС-01А в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна и УМФ-2000 в НИЯУ МИФИ.

Показано, что использование разработанной экспериментальной установки для отбора проб радиоактивных аэрозолей и последующей радиометрии и спектрометрии проб с помощью кремниевого детектора позволяет оценить суммарную активность

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
 $\alpha$ -излучающих радионуклидов  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в составе источников  
«тип 1П9» и САИ с относительной ошибкой около 5 %.

Для рассмотренной комбинации радионуклидов относительная ошибка оценки активности не превышала 20 %. При этом относительная ошибка оценки величины АМАД аэрозолей, содержащих  $^{239}\text{Pu}$ , с помощью метода определения дисперсного состава радиоактивных аэрозолей на основе инерционных разделителей [1], не превышала 25 %, что, в соответствии с нормативными требованиями [2] считается приемлемым.

#### Литературы

1. Д.А. Припачкин, А.К. Будыка, Ю.Н. Хусейн, А.Е. Карев, А.Г. Цовьянов. Метод определения дисперсного состава радиоактивных аэрозолей на основе инерционных разделителей. АНРИ, № 3(86). (2016).
2. МУК 2.6.1.08 – 2004 Определение характеристик распределения радиоактивного аэрозоля по размерам. М.: ФМБА России . (2004).



## ОЦЕНКА ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ МЕТОДОМ МИНИМИЗАЦИИ ФУНКЦИИ ОШИБКИ

Хусейн Ю. Н.<sup>1</sup>, Припачкин Д. А.<sup>1</sup>, Будыка А. К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИЯУ «МИФИ», г.Москва

Предложена новая экспериментальная установка для определения объемной активности и активностного медианного аэродинамического диаметра (АМАД)  $\alpha$ -активных радионуклидов. Проведена оценка спектрометрических и радиометрических характеристик  $\alpha$ -излучающих радионуклидов плутония и выполнен расчет АМАД для  $^{239}\text{Pu}$ , с учетом ошибки оценки активности. Расчетные значения активности изотопов плутония в составе специальных аэрозольных источников (САИ), полученные с помощью экспериментальной установки, сравнивали со значениями, полученными на приборах МКС-01А и УМФ-2000. Выполнена оценка относительной ошибки определения АМАД с помощью экспериментальной установки.

Экспериментальная установка состоит из разделительной части, камеры детектирования, в которой установлен ионно-имплантированный кремниевый детектор заряженных частиц ДК-500, фильтра, ротаметра, насоса и соединительных трубопроводов. Альфа активность определяли с помощью спектрометра МКС-01А «МУЛЬТИРАД-АС» и радиометра УМФ-2000.

Исследованы спектры  $\alpha$ -излучения, определена эффективность регистрации и рассчитана активность образцового источника «тип 1П9» на основе  $^{239}\text{Pu}$  с активностью 80.7 Бк и специальных аэрозольных источников  $\alpha$ -излучения (САИ) на основе  $^{239}\text{Pu}$  с активностью 119 и 112 Бк. Результаты исследований эффективности регистрации  $\alpha$ -частиц сравнивали с данными, полученными с помощью МКС-01А в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна и УМФ-2000 в НИЯУ МИФИ.

Показано, что использование разработанной экспериментальной установки для отбора проб радиоактивных аэрозолей и последующей радиометрии и спектрометрии проб с помощью кремниевого детектора позволяет оценить суммарную

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
активность  $\alpha$ -излучающих радионуклидов  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в составе источников «тип 1П9» и САИ с относительной ошибкой около 5 %.

Для рассмотренной комбинации радионуклидов относительная ошибка оценки активности не превышала 20 %. При этом относительная ошибка оценки величины АМАД аэрозолей,

содержащих  $^{239}\text{Pu}$ , с помощью метода определения дисперсного состава

радиоактивных аэрозолей на основе инерционных разделителей [1], не превышала 25 %, что, в соответствии с нормативными требованиями [2] считается приемлемым.

#### Литературы

1. Д.А. Припачкин, А.К. Бudyка, Ю.Н. Хусейн, А.Е. Карев, А.Г. Цовьянов. Метод определения дисперсного состава радиоактивных аэрозолей на основе инерционных разделителей. АНРИ, № 3(86). (2016).
2. МУК 2.6.1.08 – 2004 Определение характеристик распределения радиоактивного аэрозоля по размерам. М.: ФМБА России . (2004).

## **ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЕЙ ПЛУТОНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

***Хусейн Ю. Н.<sup>1</sup>, Припачкин Д. А.<sup>1</sup>, Будыка А. К.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>НИЯУ «МИФИ», г.Москва*

Предложена новая экспериментальная установка для определения объемной активности и активностного медианного аэродинамического диаметра (АМАД)  $\alpha$ -активных радионуклидов. Проведена оценка спектрометрических и радиометрических характеристик  $\alpha$ -излучающих радионуклидов плутония и выполнен расчет АМАД для  $^{239}\text{Pu}$ , с учетом ошибки оценки активности. Расчетные значения активности изотопов плутония в составе специальных аэрозольных источников (САИ), полученные с помощью экспериментальной установки, сравнивали со значениями, полученными на приборах МКС-01А и УМФ-2000. Выполнена оценка относительной ошибки определения АМАД с помощью экспериментальной установки.

Экспериментальная установка состоит из разделительной части, камеры детектирования, в которой установлен ионно-имплантированный кремниевый детектор заряженных частиц ДК-500, фильтра, ротаметра, насоса и соединительных трубопроводов. Альфа активность определяли с помощью спектрометра МКС-01А «МУЛЬТИРАД-АС» и радиометра УМФ-2000.

Исследованы спектры  $\alpha$ -излучения, определена эффективность регистрации и рассчитана активность образцового источника «тип 1П9» на основе  $^{239}\text{Pu}$  с активностью 80.7 Бк и специальных аэрозольных источников  $\alpha$ -излучения (САИ) на основе  $^{239}\text{Pu}$  с активностью 119 и 112 Бк. Результаты исследований эффективности регистрации  $\alpha$ -частиц сравнивали с данными, полученными с помощью МКС-01А в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна и УМФ-2000 в НИЯУ МИФИ.

Показано, что использование разработанной экспериментальной установки для отбора проб радиоактивных аэрозолей и последующей радиометрии и спектрометрии проб с помощью кремниевого детектора позволяет оценить суммарную активность

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
 $\alpha$ -излучающих радионуклидов  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в составе источников  
«тип 1П9» и САИ с относительной ошибкой около 5 %.

Для рассмотренной комбинации радионуклидов относительная ошибка оценки активности не превышала 20 %. При этом относительная ошибка оценки величины АМАД аэрозолей, содержащих  $^{239}\text{Pu}$ , с помощью метода определения дисперсного состава радиоактивных аэрозолей на основе инерционных разделителей [1], не превышала 25 %, что, в соответствии с нормативными требованиями [2] считается приемлемым.

#### Литература

1. Д.А. Припачкин, А.К. Будыка, Ю.Н. Хусейн, А.Е. Карев, А.Г. Цовьянов. Метод определения дисперсного состава радиоактивных аэрозолей на основе инерционных разделителей. АНРИ, № 3(86). (2016).
2. МУК 2.6.1.08 – 2004 Определение характеристик распределения радиоактивного аэрозоля по размерам. М.: ФМБА России . (2004).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ГЛУБОКОВОДНОГО  
НЕЙТРИННОГО ТЕЛЕСКОПА BAICAL-GVD**

**Шелепов М.Д. по поручению коллаборации Baikal-GVD**

*ИЯИ РАН, Москва  
Shelepov-1992@mail.ru*

Основным инструментом исследования нейтрино в энергетическом диапазоне  $10^9$  –  $10^{16}$  эВ являются крупномасштабные черенковские детекторы: нейтринные телескопы, создаваемые в природных водоемах как озеро Байкал или Средиземное море, и в антарктическом льду.

В настоящее время в оз. Байкал на основе опыта многолетней эксплуатации детектора НТ200, создается нейтринный телескоп нового поколения Baikal-GVD с эффективным объемом порядка кубического километра [1]. Основными регистрирующими элементами Baikal-GVD являются фотоэлектронные умножители Hamamatsu R7081-100 (ФЭУ) с полусферическими фотокатодами с диаметром 250 мм. ФЭУ с управляющей электроникой размещаются в глубоководных стеклянных корпусах, образуя оптические модули (ОМ). Оптические модули монтируются на вертикальных грузонесущих кабельных линиях, формируя гирлянды. Гирлянды объединяются в кластеры. В настоящее время введены в эксплуатацию два кластера Baikal-GVD, каждый из которых включает в свой состав восемь гирлянд по 36 ОМ (всего 576 модулей) расположенных на расстоянии 60 м друг от друга, на глубине от 750 до 1275 м. Для энергий выше 100 ТэВ эффективный объем составляет 0.1 км<sup>3</sup> Схема показана на Рис.1 [2].

Ключевым параметром нейтринного телескопа является его угловое разрешение регистрируемых направлений релятивистских частиц, которое должно быть существенно лучше одного градуса для энергий свыше 100 ТэВ. Угловое разрешение зависит в первую очередь от точности измерения времени регистрации черенковского излучения каждым каналом детектора, которая определяется двумя параметрами регистрирующей системы:

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
временным разрешением каналов и точностью их временной  
калибровки.

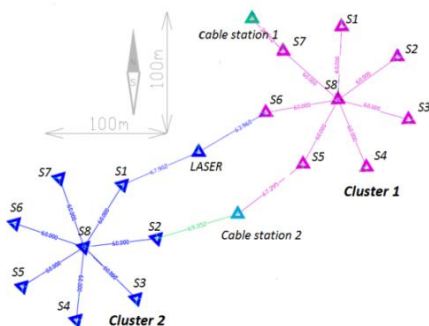


Рис.1 Схема расположения двух кластеров Baikal-GVD

Цель данной работы вычислить временные задержки для каждого ОМ и определить зависимость задержек от амплитуды сигнала регистрируемого черенковского излучения. Актуальность проведения калибровки обусловлена базовыми требованиями к реконструкции физических событий на фоне шумов среды и индивидуальных шумовых характеристик оптических модулей регистрирующей системы установки.

Разработаны несколько методов временной калибровки. Внутрисекционная калибровка: мюонная; по данным светодиодов в оптическом модуле; с использованием светодиодов и тестового импульса. Межсекционная: по данным светодиодной матрицы; по положению триггерного сигнала на дорожке [3]. Задержка ОМ складывается из задержки сигнала запуска светодиода, времени пролета фотонов от светодиода до фотокатода, задержки ФЭУ и задержек усилительного тракта и кабельных коммуникаций. Поскольку задержка регистрируемого сигнала зависит от его амплитуды, важной задачей является измерение задержек в широком диапазоне амплитуд светодиодов.

Литература

1. A.Avrarin et al., BAIKAL-GVD, Gigaton Volume Detector in Lake Baikal (Scientific Technical Report), Moscow, с. 1-122, (2012)
2. A.Avrarin et al., Status of the Baikal-GVD experiment – 2017, <https://pos.sissa.it/301/1034/pdf>
3. A.Avrarin et al., Baikal-GVD: Time Calibrations in 2016, <https://pos.sissa.it/301/1036/pdf>

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

**КОНЦЕПЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
ЛУННОЙ БАЗЫ С ТЕРМОЭМИССИОННЫМ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ  
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ**

**Шлепкина Е.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск, Россия  
89805122503, happykate10@gmail.com

На текущем этапе освоения солнечной системы одной из важнейших проблем является создание нового поколения необслуживаемых космических энергетических установок, в частности, способных обеспечивать электроэнергией напланетные базы, например, для лунных миссий.

Сегодня, наиболее эффективным способом преобразования тепловой энергии в электрическую в условиях космоса является технология термоэмиссионного преобразования. Мощным и универсальным источником тепловой энергии, эффективность которого не зависит от условий окружающей его среды, является низкоэнергетическая экзотермическая реакция. Её важнейшее преимущество - выход тепловой энергии такой реакции в 3 - 3,5 раза превышает затраченную тепловую энергию необходимую для её инициализации. В качестве топлива используется порошок никеля с естественным изотопным составом и  $\text{LiAlH}_4$ . Единой теории, описывающей ядерно-физические процессы, протекающие в ходе реакции, на данный момент не существует. Наиболее популярные теории: реакция типа LENR, теория Видома-Ларсена, микроускорительная теория

На основе технологий низкотемпературных термоэмиссионных преобразователей и тепловыделяющих картриджей (рис.1.) с низкоэнергетической экзотермической реакцией прорабатывается концепция космической энергетической установки (рис.2.) с тепловой мощностью 350 кВт. Разработка концепции ведется на основании требований НАСА [2]. В качестве ракеты-носителя выбран «Delta IV Heavy».

Установке не требуется радиационная защита и система отражателей, так как отсутствует нейтронный поток и

Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика  
радиоактивное излучение какого-либо рода. Благодаря этому она  
значительно облегчается.



Рис. 1. Внешний вид картриджа [1]

Установка предназначена для генерации электроэнергии (постоянного тока)  
120 В для питания оборудования лунной базы и 24 В для собственных нужд.

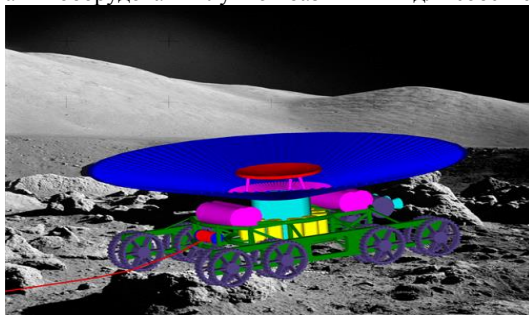


Рис.2. Общий вид установки [2]

Исследования по данной теме ведутся под руководством  
профессора Ярыгина В.И.

#### Литература

1. Levi G. et al. Observation of abundant heat production from a reactor device and of isotopic changes in the fuel. – 2014.
2. Ярыгин В. И. Ядерная энергетика прямого преобразования в космических миссиях XXI в //Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2013. – №. 2. – С. 5-20.
3. K. Cowing, “A Closer Look at NASA’s New Exploration Architecture”, *SpaceRef.com* (October 9, 2005).



Ядерная физика и технологии,  
теоретическая физика и астрофизика

## КОНСТАНТЫ САМОДЕЙСТВИЯ БОЗОНОВ ХИГГСА В СУПЕРСИММЕТРИЧНЫХ РАСШИРЕНИЯХ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ

*Штанов В.М.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> «Самарский национальный исследовательский университет имени  
С.П.Королева», г. Самара, Россия  
8-996-730-50-34, [ymshtanov@gmail.com](mailto:ymshtanov@gmail.com)

Предсказание, а затем и открытие бозона Хиггса на ЛНС, стали отправной точкой развития новой страницы в физике элементарных частиц. Механизмы спонтанного нарушения симметрии, экспериментально подтверждены, а это значит, что Стандартная модель (СМ) становится полноценной теорией. Бозон Хиггса становится важнейшим звеном в СМ, дополняя три вида взаимодействия, четвертым – юкавским, переносимым хиггсовским бозоном.

Актуальность исследований не подвергается сомнениям, открытие бозона Хиггса повлекло за собой возникновение новых теорий и новых вопросов. Одним из них является вопрос о расширении скалярного сектора СМ [1-3]. СМ требует: «Нарушению электрослабой симметрии - быть!», но не говорит нам о том, как именно работает данный механизм. Для объяснения данного факта требуется рассмотрение новых моделей. В данной работе изучено минимальное расширение СМ, так называемая минимальная суперсимметричная стандартная модель (МССМ).

В работе рассмотрен двухдублетный потенциал с действительными  $\lambda_{1...4}$  и комплексными  $\lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$  параметрами, который не является СР-инвариантным. Это позволяет ввести в теорию новые источники СР-нарушения, отличные от фазы матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскавы. В работе построен эффективный потенциал МССМ на энергетическом масштабе  $m_{top}$ , который имеет форму двухдублетного потенциала. Параметры  $\lambda_{1...7}$  эффективного потенциала явно вычислены и выражаются через параметры взаимодействия бозонов Хиггса со скалярными кварками.

В работе получены выражения для тройных и четверных констант самодействия бозонов Хиггса с радиационными поправками в двухдублетной модели с нарушением CP-инвариантности. В этой модели имеются три нейтральных бозона Хиггса  $h_1, h_2, h_3$ , которые являются смешанными состояниями двух CP-четных ( $h$  и  $H$ ) и одного CP-нечетного ( $A$ ) бозона Хиггса. Вершины  $h;h;h_k$  и  $h;h;h_k h_1$  рассчитаны в однопетлевом приближении и могут меняться в зависимости от параметров модели, проведено сравнение со случаем CP-сохранения[4].

Исследование констант самодействия бозонов Хиггса является одной из основных задач Большого адронного коллайдера и будущих ускорителей. После открытия бозона Хиггса большое внимание уделяется изучению его свойств, в том числе измерению констант самодействия и сравнению их со значениями, полученными в теоретических моделях. Параметры эффективного потенциала определяют соотношения между массами и константами самодействия. Исследование этих соотношений является важной задачей для понимания природы нарушения калибровочной симметрии.

Самодействие хиггсовских полей приводит к нетривиальной структуре вакуумного состояния с ненулевым значением поля, вызывающим спонтанное нарушение  $SU(2) \times U(1)$  симметрии. Построение эффективного потенциала требует экспериментальных измерений тройных и четверных вершин самодействия бозонов Хиггса через сечения многочастичного рождения и распада, что является нетривиальной и важной задачей для современных и будущих ускорителей.

#### Литература

1. Д.И.Казаков. Хиггсовский бозон открыт. Что дальше? Успехи физических наук. Т. 184, №9. С. 1004 – 1016 (2014).
2. А. А. Ансельм, Н. Г. Уральцев, В. А. Хозе. Хиггсовские частицы. Успехи физических наук. Т. 145, №2. С. 185 – 220 (1985).
3. Э.Н. Ахметзянова, М.В. Долгополов, М.Н. Дубинин. Нарушение CP – инвариантности в двухдублетном хиггсовском секторе МССМ. Физика элементарных частиц и атомного ядра. Т. 37, №5. С. 1285 – 1382 (2006).
4. E.N.Akhmetzyanova, M.V.Dolgoplov, M.N.Dubinin. Self-couplings of Higgs bosons in the CP-violating scenarios. Proc. of QFTHEP'2004. С. 178-185 (2004).

**IT – технологии,**  
**интеллектуальные системы,**  
**кибербезопасность**

## HEXAPOD WALKING ROBOT GAIT SYNTHESIS AS THE PROBLEM OF MULTIDIMENSIONAL OPTIMIZATION

*Ankudinov V.Kh.<sup>1</sup>, Maksimov A.V.<sup>1</sup>, Starkov S.O.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga,

<sup>2</sup> Obninsk State Institute of Nuclear Engineering – a branch of National Research Nuclear University MEPhI, Obninsk

To ensure the movement of the walking robot, locomotion, it needs to perform a number of motor acts – leg movements accompanied by a phase change between the support phases and transfer phases. Each motor act involves various drives and leads to energy consumption. Depending on the type of gait and its parameters, such as the step length, the energy consumption can vary greatly at the same speed of movement. Developer of control algorithms faces the issue of synthesizing such a gait that, on the one hand, will satisfy the parameters set by the operator, for example: speed, direction of movement, height of the hull above the ground, and on the other hand, was the most effective for power consumption or other characteristics. Parameters can pass from the category specified by the operator to the optimized category. So if the height of the hull above the ground for the operator does not matter, this parameter can be changed in such a way as to reduce power consumption.

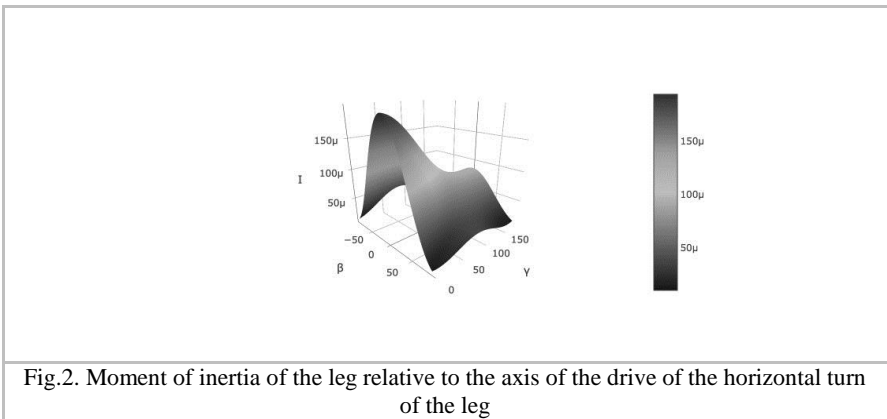
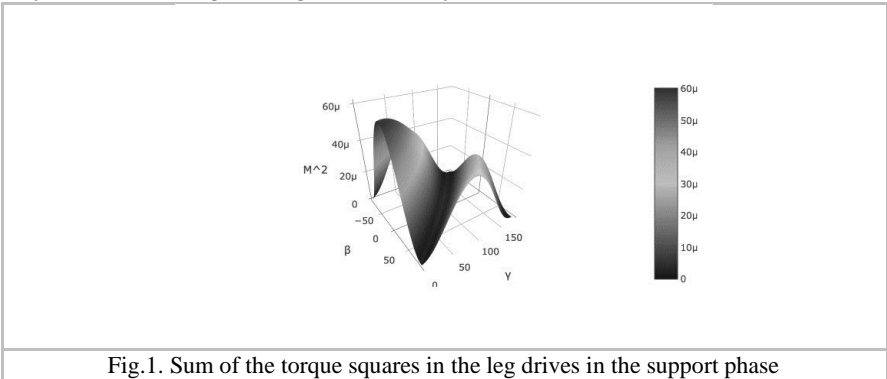
The aim of the work is to develop algorithms for forming the most effective statically stable gaits for hexapods walking robots. As a model hexapod, the hexapod "Snowflake" [1] is used.

The power consumption of the hexapod will depend on the moment in the drives. With a statically stable gait in the support phase, the energy expended by the drives will be mainly spent on maintaining the hull. Figure 1 shows the graph of the sum of the torque squares in the leg drives in the support phase. Energy consumption of drives will directly depend on the square of the moments on their axis.

In the transfer phase, the energy expended on the leg movement will be composed of the sum of the energies expended by each of the drives participating in the transfer. In turn, the energy expended by each of the drives will depend on the moment of inertia of the leg relative to the drive axis. Figure 2 shows the dependence of the moment of inertia of the leg relative to the axis of the drive of the horizontal turn of the leg,

depending on the turns of the femur and tibia in the vertical plane.

The more moment of inertia of the leg the more energy is consumed by drive to change its angular velocity.



According to the presented graphs, the synthesis of energy-efficient gait is a multidimensional optimization problem [2], which can be solved by various methods, for example, gradient descent or cyclic coordinate-wise descent, and others.

The results were tested in the simulator "Robosim" [3] and on the physical hexapod model.

#### References

1. Ankudinov V.Kh, Maksimov A.V. Kinematics model of hexapod. Part 1: Matrix models. Electromagnetic waves and electronic systems, vol. 21 (2016)

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

2. Chernorutsky I.G. Optimization Methods. Computer technologies. BHV-Petersburg, St. Petersburg (2011)

3. Ankudinov V.Kh., Maksimov A.V., Starkov S.O. Hardware-software complex of in-depth studies of hexapod walking robot. Journal of Physics: Conference Series, Volume 945, Number 1 (2018)

## EFFICIENCY ANALYSES OF SNOOP FILTERS

***Antonova A.M.<sup>1,2</sup>, Aryashev S.I.<sup>1</sup>, Barskyh M.E.<sup>1</sup>, Zubkovsky P.S.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *Federal State Institution "Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences", Moscow*

<sup>2</sup> *National Research Nuclear University MEPhI, Moscow  
+79852896546, amantonova@cs.niisi.ras.ru*

A coherence problem can arise if multiple cores have access to multiple copies of a datum in multiple caches. For snoop-coherence, bus-based SMP (symmetric multiprocessing) systems the ongoing problem is the need to reduce the number of snoop cache look-ups. Every transaction on the bus induces a look-up in the data cache of all remote CPUs in-order to check data consistency. Significant number of snoops miss in the caches results:

1. The performance of multicore systems decreases, because in addition to the fundamental cache requests, snoop look-ups of snoopy based cache coherence protocols are dealt with a cache.
2. Increasing of number of snoops miss may lead to an overall increase in energy consumption, because these misses consume excessive energy.

One way to reduce number of snoops miss is to use snoop filters. A snoop filter is a small cache-like structure that is placed in-between the bus and the L2 backside of each processor, but provides inexact hit/miss information. The filters can be divided into exclusive and inclusive.

Moshovos et al. [2] introduced the first set of widely recognized snoop filters. Their filters, the JETTYs has three JETTY variants: the exclude-JETTY, the include-JETTY, and the hybrid-JETTY. Alternatively, filters based Stream Registers (SR) [3] were introduced into the IBM Blue Gene/P supercomputer. They are small, compared to the JETTYs inclusive filters. Another path is Counting stream register snoop filter architecture (CSR) [3], which improves the performance of snoop filters based on stream registers.

The main aim of its work is the development of the snoop filter required by an efficient work of the SMP system. The snoop filter builds on findings of predecessors, and improvement tag look-ups is core parameter used for comparison of snoop filter's different realization [1]. Total number of unnecessary tag look-ups with and without snoop filters

was examined for each benchmark, which are used for the simulation. The snoop filter top level module is presented in Figure 1.

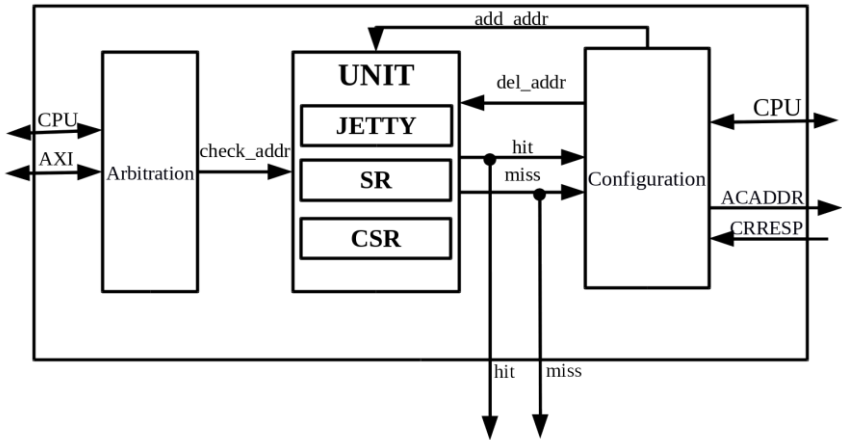


Figure 1. Snoop filter top level

The snoop filter based Counting Stream Register's architecture shows the best scores of improvement tag look-ups, therefore it's recommended for use in the SMP system is being developed currently.

#### References

1. Antonova A., et al. Snoop Filtering in Multicore Microprocessors. Works of SRISA RAS (in Russian). Vol. 7 (2). P. 27 (2017).
2. Moshovos A., et al. JETTY: Filtering Snoops for Reduced Energy Consumption in SMP Servers. The proceeding of the 7th international symposium on high-performance computer architecture. Vol. 7. P. 85 (2001).
3. Ranganathan A., et al. Counting Stream Registers: An Efficient and Effective Snoop Filter Architecture. 2012 International Conference on Embedded Computer Systems. P. 120 (2012).



## HYPERCOMPLEX MODELS FOR CONTROL SYSTEM TYPICAL UNITS

***Klimanova E.V.<sup>1</sup>, Maximov A.V.<sup>1</sup>, S.O. Starkov S.O<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Bauman Moscow State Technical University, Kaluga*

<sup>2</sup> *National Research university "MEPHI", Obninsk  
tel. +79805119109, e-mail, [e.v.klimanova@yandex.ru](mailto:e.v.klimanova@yandex.ru)*

Nowadays there are hypercomplex numbers that draw engineers and developers attention. The purpose of this study is to explore and define quaternions applicability for control-systems modeling.

Let some control system be presented by the following linear differential equation with zero initial conditions[2]:

$$a_{nm} \frac{d^n x_m(t)}{dt^n} + \dots + a_{0m} \frac{a^n x_m(t)}{dt^n} = b_{km} \frac{d^n y_m(t)}{dt^k} + \dots + b_{0m} y(t), \quad (1)$$

$m$  – is the channel number ( $m = 0, 1, 2, 3$ ),  $y_m(t)$  – is the  $m$ -channel input;  $n, k$  – are the orders of derivation; .

If input signal  $y(t)$  is quaternion function:

$$y(t) = y_1(t) + iy_2(t) + jy_3(t) + ky_4(t), \quad (2)$$

Then output is:

$$x(t) = x_1(t) + ix_2(t) + jx_3(t) + kx_4(t), \quad (3)$$

As follows from the equations (2) and (3) given control system is four-dimensional system when it's input and output specified as quaternions.

Let both input and output orders of derivation be equal to  $k$  and to  $n$  respectively. From the equation (1) it follows that [3-5]:

$$A_m(p)x_m(t) = B(p)y_m(t) \quad (4)$$

And with

$$A_m(p) = T_{1m}^n p^n + \dots + T_{(n-1)m} p + 1, B_m(p) = \tau_{1m}^k p^k + \dots + \tau_{(k-1)m} p + 1,$$

as polynom operators for the  $m$ -channel input and output parts,  $T_{nm}, \tau_{km}$  –  $m$ -channel time constants; index number 1 is for the real part of variable, index numbers 2, 3, 4 are for the imaginary part of variable;  $\frac{d}{dt}$  – is the differential operator.

The product of (2) is an operator equation:

$$A_0(p)x_0(t) = B_0(p)y_0(t),$$

$$\begin{aligned} A_1(p)x_1(t) &= B_1(p)y_1(t), \\ A_2(p)x_2(t) &= B_2(p)y_2(t), \\ A_3(p)x_3(t) &= B_3(p)y_3(t), \end{aligned} \quad (5)$$

Matrix notation for (3) is:

$$\mathbf{A}(p)\mathbf{X}(t) = \mathbf{B}(p)\mathbf{Y}(t),$$

(6)

It should be mentioned that matrixes  $\mathbf{A}(p)$  and  $\mathbf{B}(p)$  describe four-channel control system when each channel is independent, while quaternions can provide cross-connected control systems. Using quaternions for matrix  $\mathbf{A}(p)$  and matrix  $\mathbf{B}(p)$  notation results in 16-element matrix for both  $\mathbf{A}(p)$  and  $\mathbf{B}(p)$  accordingly.

The product of equation (6) has form:

$$\mathbf{X}(t) = \mathbf{A}^{-1}(p)\mathbf{B}(p)\mathbf{Y}(t) = \mathbf{W}(p)\mathbf{Y}(t),$$

(7)

and  $\mathbf{W}(p) = \mathbf{A}^{-1}(p)\mathbf{B}(p)$  – is the quaternion matrix of transfer function:

$$\begin{bmatrix} W_0(p) & -W_1(p) & -W_2(p) & -W_3(p) \\ W_1(p) & W_0(p) & -W_3(p) & W_2(p) \\ W_2(p) & W_3(p) & W_0(p) & -W_1(p) \\ W_3(p) & -W_2(p) & W_1(p) & W_0(p) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

These above-stated equation (7) and matrix (8) can be used for generalized quaternion-matrix control system development. The result is that the system is fully connected, and in general such systems may expand functionality of multiply-input and multiply output systems given practical realization.

Conclusion: the described mathematical method may be applied for multiply input-output control systems analysis and synthesis . However before such research could be provided, there is a big interest in quaternions application for typical control system units.

References:

1. J.A. Furmanov. Complex and hypercomplex systems in signalprocessing. (M: FIZMATLIT. 2004).
2. V.A. Besekersky., E.P. Popov. Automatic control systems theory. (M: Science. 1970).
3. K.A. Pupkov, N.D. Egupov. Matrix methods of complex control systems analysis. Vol. Mathematical models, dynamic characteristics and analysis. (M: MBSTU. 2004).

4. E.V. Klimanova, A.V. Maksimov. Complex and hypercomplex control system units models. *Electromagnetic Waves and Electronic systems*. №3. P. 22-29 (2017).

## ONLINE CLUSTERING ON UNCERTAIN DATA STREAM

*Makhmutova A.Z.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kazan National Research Technical University  
named after A. N. Tupolev - KAI, Kazan  
+79093080923, phd.makhmutova@griat.kai.ru*

Expeditious growth of the modern technologies led to increase the amount of information to be processed. In most cases data arrives from real-time systems and applications, which provide *data stream* — a continuous unbounded by the time flow of data in different variety (text, media, etc.). Data stream processing is completely different from static, collected in advance data, because of new information continuously arriving in time intervals. This circumstance limits and imposes certain requirements on the handling of data streams on each step from obtaining of information to its storage and availability [1].

Data mining techniques have proved to be an effective tool for data processing in many fields of activity. Its approaches allow identifying useful data or knowledge from the general mass of information for future usage. However, processing of streaming data brings the new challenges to standard mining algorithms and for satisfying performance the following requirements must be fulfilled [2]:

- 1) quick processing of arriving data record - without this all obtained knowledge may be outdated and useless
- 2) compact representation - because of continuous flow of information without time limits, memory usage should be identified, and management of outdated records must be provided
- 3) identification and handling of outliers - data record beyond general mass significantly affects on the outcome, and, if in static approaches we can investigate their impact, in real time processing it is necessary to determine the actions with this data.

To meet these requirements in real-time systems clustering data mining approach might be considered. Clustering is genuine choice for such systems, because it allows not only identifying similar records and group them in clusters without any knowledge about coming data [3], but also to adjust for the new conditions.

Generally, real-time applications provide data with part of inaccuracy, imprecision, and sometimes even with lack of information. In these cases, we refer this to uncertain data, and streams, which provide this type of data we call *uncertain data streams*. The existing solutions for clustering the uncertain data streams [4] unsuitable for the modern environment with its volume, veracity and variety of generated information - so-called *Big data* scope. The clustering approach must be adapted for distributed processing systems, which able handle large amount of data, but don't natively support uncertain data stream mining.

Summarizing described above, the main objectives of this research could be concluded. Processing of data streams nowadays is challenging operation because of not only requirements and limitations of hardware, but also characteristics of coming big data. Present in the data uncertainty inhibits the process of mining the data and slows down the work of all system. The main goal of this work is to analyze efficiency and effectiveness of clustering uncertain data stream in online mode in comparing with explicit data stream by using computing toolkit. Result of the work will provide scalability of existing clustering approaches on real-time devices.

#### References

1. M. Stonebraker, U. Cetintemel, and S. Zdonik. The 8 requirements of real-time stream processing. *Sigmod Record*, Volume 34 Issue 4, pp.42–47 (2005).
2. D. Barbar. Requirements for clustering data streams. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, Volume 3 Issue 2, pp. 23–27 (2002).
3. S. Guha and R. Motwani. Clustering data streams: theory and practice. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Volume 15 Issue 3, pp. 515–528 (2002).
4. C. Aggarwal and P.S.Yu. A framework for clustering uncertain data streams. *Proceedings of the IEEE 24th International Conference on Data Engineering*, pp. 150–159 (2008).

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

## **ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СОБЫТИЙ АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

***Беляцев И.П.<sup>1</sup>, Старков С.О.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск  
+7-953-323-38-72, djbelyak@gmail.com*

Конечные автоматы активно применяются в различных областях науки и техники, особенно в области информатики. Одной из областей применения автоматов является моделирование[1]. Описание процессов в виде конечных автоматов удобно для человека. В случае сложных процессов допустимо описание процесса в виде композиции автоматов[2]. Композиция автоматов все также понятна для человека и может быть заменена одним большим автоматом.

Одной из задач, которую можно решать над автоматными моделями – это поиск кратчайших последовательностей входных символов (событий) из начального состояния в одно из конечных состояний. Так как одним из возможных представлений функции переходов является диаграмма состояний или граф переходов, то задача поиска оптимальной последовательности событий сводится к поиску кратчайшего расстояния от вершины начального состояния до вершины одного из конечных состояний.

Есть множество эффективных алгоритмов поиска пути в графе, однако, сложность алгоритмов зависит от количества вершин и ребер графа. Также задача усложняется необходимостью проверки каждой конечной вершины. В связи с этим ставится задача построения функции  $f: Q \rightarrow X$ , выбирающей следующий входной символ таким образом, чтобы за минимальное количество символов автомат достиг одного из конечных состояний.

Для построения данной функции создадим искусственную нейронную сеть прямого распространения, которая принимает состояние автомата (представленное в One-Hot кодировке), а на выходе выдает вектор размерности  $|X|$ , представляющий меру близости до конечного состояния.

Рассмотрим процедуру обучения данной нейронной сети.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

*Инициализация.* Конечный автомат  $A$  переводится в состояние  $q_0$ . Искусственная нейронная сеть  $N$  инициализируется случайными малыми весами. Список  $D$  пуст. Стек  $S$  пуст.

*Шаг 1.* Искусственная нейронная сеть  $N$  по текущему состоянию  $q_i$  вычисляет меру близости. По мере близости выбирается следующий входной символ  $x_i$ . При  $(q_i, x_i) \in D$ ,  $x_i$  заменяется на случайно выбранный другой элемент множества  $X$ . Кортеж  $(q_i, x_i)$  добавляется в стек  $S$ . Автомат  $A$  получает на вход символ  $x_i$  и переходит в следующее состояние  $q_{i+1}$ .

*Шаг 2.* Если  $q_{i+1} \in F$  переходим к шагу 3, в противном случае – переходим к шагу 1.

*Шаг 3.* Из стека  $S$  по очереди извлекаются кортежи  $(q_i, x_i)$ , дополнятся порядковым номером в стеке и записываются в список  $D$ . Если  $(q_i, x_i, n_i)$  уже был записан в списке  $D$ , то номер обновляется минимальным значением.

*Шаг 4.* Нейронная сеть  $N$  обучается методом обратного распространения ошибки. Для каждого  $q_i$  формируется вектор размерности  $|X|$ . Если для  $(q_i, x_j, n_j)$ , есть значения в  $D$ , то  $j$ -ый компонент вектора будет равен  $1 - \frac{n_j}{\sum_{(q_i, x_k) \in D} n_k}$ . В противном случае –  $j$ -ый компонент вектора равен 0.

*Шаг 5.* При необходимости продолжить обучение. Конечный автомат  $A$  переводится в состояние  $q_0$ . Переходим к шагу 1.

Данный алгоритм был реализован с помощью фреймворка машинного обучения TensorFlow. Результаты тестирования на различных случайно сгенерированных графах (количество вершин от 10 до 10000) подтверждают работоспособность данного подхода.

Литература

1. Поликарпова Н. И., Шалыто А. А. Автоматное программирование. СПб., Питер, 2009. — 176 с.

2. Гуренко В. В. Введение в теорию автоматов: Электронное учебное издание / В. В. Гуренко. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. - 62 с.

## **ОБУЧЕНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ КВАДРОКОПТЕР НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ДИНАМИЧЕСКИ РАСШИРЯЮЩИХСЯ ВЫБОРКАХ**

**Бушув К.Р.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Университет ИТМО, Санкт-Петербург  
8(965)786 82 25, krbushuev@gmail.ru*

Актуальность данной работы заключается в том, что в связи с малым количеством достоверно известных параметров, нейронная сеть должна за малый промежуток времени стабилизировать квадрокоптер по данным полученным с датчиков. Основной сложностью является недопущение фатальных ошибок, приводящих к невозможности продолжения маневрирования, в процессе обучения.

В рамках данной работы рассматривается подзадача адаптации структуры нейронной сети для успешного обучения на динамически расширяющихся выборках, получаемых с датчика 10 DOF IMU Sensor (B). Итоговая обработка данных нейронной сетью происходит на одноплатном компьютере Raspberry Pi 3 model B

Были разработаны и оптимизированы методики обучения и анализа качества работы нейронной сети при различных исходных параметрах, прошедшие проверку на математической модели, а также на реальной физической реализации квадрокоптера, построенной на основе аппарата SYMA X54HW. Проведена оптимизация структуры нейронной сети для получения достоверных результатов и ускорения процесса обучения.

### Литература

1. David Silver\*, Julian Schrittwieser\*, Karen Simonyan\*, Ioannis Antonoglou, Aja Huang, Arthur Guez, Thomas Hubert, Lucas Baker, Matthew Lai, Adrian Bolton, Yutian Chen, Timothy Lillicrap, Fan Hui, Laurent Sifre, George van den Driessche, Thore Graepel, Demis Hassabis. Mastering the Game of Go without Human Knowledge. Nature 550, 354–359 (19 October 2017)



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

## **МЕТОДИКА ПОПОЛНЕНИЯ ТЕЗАУРУСА ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛОССАРИЯ**

*Гаврилкина А.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, Москва  
89096543912., *asgavrilkina@yandex.ru*

Целью работы является разработка методик, основанной на автоматическом извлечении терминов и связей из глоссария с добавлением результатов в тезаурус. Построение тезаурусов для предметных областей является важной задачей информационного поиска и способствует проведению автоматического индексирования, автоматической классификации, расширению поискового запроса и т.п.

Методика пополнения тезауруса включает следующие шаги:

- 1) построение семантических окрестностей терминов глоссария с использованием иерархических и ассоциативных связей;
- 2) объединение семантических окрестностей терминов глоссария и соответствующих терминов тезауруса;
- 3) формирование предложений по пополнению тезауруса;
- 4) принятие решений в результате экспертной оценки.

Для построения семантических окрестностей терминов глоссария используются методы и программное приложение, представленные в [1, 2]. В результате их применения извлекаются термины произвольной длины и связи иерархического и ассоциативного типа.

Объединение семантических окрестностей осуществляется по общим терминам, т.е. которые присутствуют в тезаурусе и извлечённым из глоссария посредством автоматической обработки. В таблице 1 представлены окрестности термина «гетерогенные активные зоны» в тезаурусе и глоссарии.

Таблица 1. Дескрипторная статья и семантическая окрестность по глоссарию термина ГЕТЕРОГЕННЫЕ АКТИВНЫЕ ЗОНЫ

Дескрипторная статья тезауруса	Семантическая окрестность по глоссарию
<p><b>BT (broader terms) –</b>  <b>вышестоящие:</b>                      АКТИВНЫЕ ЗОНЫ РЕАКТОРОВ  <b>RT (related terms) –</b>  <b>ассоциативные:</b>                      РЕАКТОРЫ ТИПА FBR</p>	<p><b>BT (broader terms) –</b>  <b>вышестоящие:</b>                      АКТИВНАЯ ЗОНА РЕАКТОРА  <b>RT (related terms) –</b>  <b>ассоциативные:</b>                      ТВЭЛ                      РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА                      МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО                      ОКСИДНОЕ ТОПЛИВО</p>

Решения по включению терминов и связей в тезаурус принимаются экспертом.

#### Литература

1. Гаврилкина А.С. Разработка моделей и алгоритмов формирования иерархических понятийных структур на основе текстов предметной области: дис. ... магистра прикл. мат. и инф.. Москва. НИЯУ МИФИ, Москва, 2017.

2. A S Gavrilkina, O L Golitsyna, V A Fedorova Model and technology support of lingware in a tasks of the nuclear knowledge management system / Международная конференция по физике ядерных реакторов («Волга-2016»), Тверская обл., БО «Волга» 5-9 сентября 2016 // Journal of Physics: Conference Series, Vol.781, No. 1.

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ ПО АСТРОНОМИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ**

***Горбунов А.А.<sup>1</sup>, Исаев Е.А.<sup>1,2</sup>, Самодуров В.А.<sup>1,2</sup>***

*<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», Москва*

*<sup>2</sup> Пушчинская Радиоастрономическая обсерватория  
АКЦ ФИАН, Пушкино  
agorbunov@hse.ru*

В процессе астрономических наблюдений собираются огромные объемы данных. БСА (Большая Сканирующая Антенна) ФИАН, используемая при исследовании импульсных явлений, ежедневно регистрирует 87.5 Гбайт данных (32 Тб в год). При классификации эксперты используют явные и неявные знания. К явным можно отнести знания, которыми обладает каждый эксперт по соответствующей специальности (в данном докладе рассматриваются эксперты, обладающие знаниями в области астрономии). Существуют также и неявные знания, которые используют эксперты в процессе классификации астрономических данных - знания, основанные на предыдущем опыте эксперта.

Экспертами классифицированы 83096 индивидуальных наблюдений [1,2,3] (на отрезке исследования июль 2012 - октябрь 2013). Разрабатываемая математическая модель должна помочь разделить имеющуюся выборку на классы наблюдений, полученные с использованием явных знаний (классы общих наблюдений) и неявных знаний (классы индивидуальных экспертных наблюдений).

В перспективе данная математическая модель будет использована для улучшения работы автоматизированных классификаторов, что позволит повысить качество мониторинга и потоковой идентификации динамических космических объектов.

Литература

[1] Samodurov V. A., Dumsky D. V., Isaev E., Rodin A. E., Kazancev A. N., Fedorova V. A., Belyatskij Y. A. The daily 110 Mhz radio wave sky survey: statistical analysis of impulse phenomena from

observation in 2012-2013 // Odessa Astronomical Publications. 2016. Vol. 29. P. 167-170.

[2] Taylor G. B. et al: First Light for the First Station of the Long Wavelength Array // J. Astron. Instrum. – 2012. – Vol. 1. – P. 1–56

[3] Victor S. R., Cañalán B. Automatic Analysis of Radio Meteor Events Using Neural Networks // J Earth Moon Planets. Springer Science+Business Media Dordrecht 2015

**РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ  
УРАВНЕНИЙ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ ОПИСАНИЯ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЦЕНОК ЧАСТОТ И  
ДОБРОТНОСТЕЙ КОРНЕЙ**

*Довгополая Е.А.*

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,*

*г. Москва*

*8 916 115 87 67, e.a.dovg@yandex.ru*

Описание технических систем различной природы с неизбежностью приводит после преобразований Лапласа к нелинейным алгебраическим уравнениям, вследствие чего возникает задача их решения в целях анализа исходных объектов.

Известно, что при моделировании технических систем крайне редок и не представляет исследовательского интереса случай, когда все корни уравнения являются действительными [1]. При рассмотрении характеристических уравнений систем автоматического регулирования, очевиден вывод о наличии у них доминирующего низкочастотного полюса, т.е. действительного корня с наименьшей частотой [2]. Говоря об описании активных фильтров, соответствующие нелинейные алгебраические уравнения в числе своих корней имеют с необходимостью доминирующие низкочастотные комплексно-сопряженные корни с добротностью, равной нескольким единицам [3].

Таким образом, среди характерных для описания технических систем и физических объектов преобладают нелинейные уравнения с существенно различными по модулю корнями, среди которых имеется, по крайней мере, одна пара комплексно-сопряженных. Исходя из этого, возможно применение формул для оценки частот и добротностей комплексно-сопряженных корней кубического уравнения согласно [4]. Все необходимые  $n$  первых начальных приближений к решению могут быть найдены путем последовательного разбиения исходного уравнения степени  $n$  на многочлены третьей степени (см. рис. 1). Далее решение по методу, изложенному в [4], может быть уточнено итерационным образом

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность по методу, изложенному в [5]. Переход от частот и добротностей корней к самим значениям корней осуществляется согласно [4].

$$x^n + a_{n-1}x^{n-1} + a_{n-2}x^{n-2} + a_{n-3}x^{n-3} + a_{n-4}x^{n-4} + \dots + a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 = 0$$

Рис. 1. Схема выделения кубических многочленов из уравнения степени n

Результаты применения изложенного подхода могут найти широкое применение в целях анализа и оптимизации систем автоматического регулирования, широкополосных и импульсных усилителей, активных фильтров, механических резонансных систем и т.п.

Работа выполнена при поддержке гранта ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» по договору (соглашению) № 11296ГУ/2016 от 07.04.2017 г.

#### Литература

1. Колесов Ю. Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. – БХВ-Петербург, 2006.
2. Масленников В.В., Мещеряков В.В., Довгополая Е.А. Метод анализа САР, описываемых математической моделью с кубическим характеристическим уравнением. Автоматика и телемеханика. 2016, № 12, с. 150 – 158.
3. Активные избирательные устройства радиоаппаратуры. Под редакцией В.В. Масленникова – М.: Радио и связь, 1987. – 216 с.
4. Масленников В.В., Довгополая Е.А., Кочеткова И.А. Метод приближенного определения корней кубического уравнения с положительными коэффициентами. Научная сессия МИФИ - 2015. Сборник научных трудов. Т. 2. С.269
5. Масленников В.В., Довгополая Е.А. Обобщение алгоритма ускоренного приближенного вычисления корней кубических уравнений с коэффициентами любого знака. 19-я Международная телекоммуникационная конференция молодых ученых и студентов «Молодежь и Наука». Тезисы докладов. URL: mn.mephi.ru

## **СРАВНЕНИЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ПО ПАРАМЕТРА АЛГОРИТМО ПОИСКА ЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИИ**

***Егоров А.Д.<sup>1</sup>, Дивицкий Д.Ю.<sup>1</sup>, Долгих А.А.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> ФГАОУ ВО НИЯУ МИФИ, Москва  
8-915-294-91-76, egorovalexeyd@gmail.com*

Задача поиска объектов на изображении является одной из краугольных в области компьютерного зрения. С 2001 года – основным методом, который используется для поиска объектов, является метод Виолы-Джонса [1]. Кроме того – существует ряд методов, точность и легкость использования которых, а также время работы на один кадр, сравнима с точностью и легкостью в использовании метода Виолы-Джонса.

Сравнение качества (точности и времени работы) работы методов (алгоритмов) поиска является стандартной задачей [2]. Однако, не проводится сравнений оптимизированных по параметрам алгоритмов поиска объектов. Показано, что за счёт 3-5% уменьшения точности, можно добиться уменьшения времени работы алгоритма на порядок (на один кадр) [3].

Для задач, решаемых в реальном времени требуется добиваться минимального времени обработки каждого кадра. В работе проводится сравнение оптимизированных по качеству методов поиска объектов.

### Литература

1. Viola, P., Jones, M. Robust real-time face detection. (2001). Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2, p. 747.
2. Egorov, A.D., Shtanko, A.N., Minin, P.E. Selection of Viola–Jones algorithm parameters for specific conditions. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 42 (8), pp. 244-248.
3. Bruce, B.R., Aitken, J.M., Petke, J. Deep parameter optimisation for face detection using The Viola-Jones algorithm in OpenCV. Volume 9962 LNCS, 2016, Pages 238-243

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СКВАЖИН**

***Кадочникова Е.С., Вершинин В.Е.***

*Тюменский государственный университет, Тюмень  
89199336853., [katya.kadochnikova.97@mail.ru](mailto:katya.kadochnikova.97@mail.ru)*

Разработка газоконденсатных месторождений сопряжена с рядом проблем, одна из которых ретроградная конденсация и образование «конденсатных банок» в призабойной зоне скважин. Выпадение конденсата происходит за счет снижения давления ниже давления конденсации и приводит к снижению продуктивности скважин. Кроме того, выпавший конденсат является безвозвратно потерянным для добычи.[1- 4]. Величина потерь напрямую зависит от режима работы скважины. При групповой добыче можно сформулировать ряд оптимизационных задач, связанных с минимизацией потерь конденсата в пласте и максимизацией его добычи. Решение подобных задач наталкивается на серьезные трудности, связанные с необходимостью учета состояния пластовой системы и скважин. Это превращает задачу оптимизации в нелинейную задачу поиска экстремумов в многомерном пространстве. Поиск быстрых алгоритмов решения в таком случае представляется актуальной задачей.

В работе исследованы критерии оптимальности работы подгруппы скважин. Это позволило сформулировать быстрый алгоритм поиска оптимального режима работы группы скважин, в основе которого лежит анализ попарной работы скважин.

Применение данного алгоритма не требует дополнительных вложений и позволяет снизить потери конденсата в пласте. На рисунке1 приведен пример сравнения добычи конденсата до и после оптимизации режимов работы.

Методика автоматизирована в виде макроса Excel и может использоваться для расчетов любых газоконденсатных месторождений.



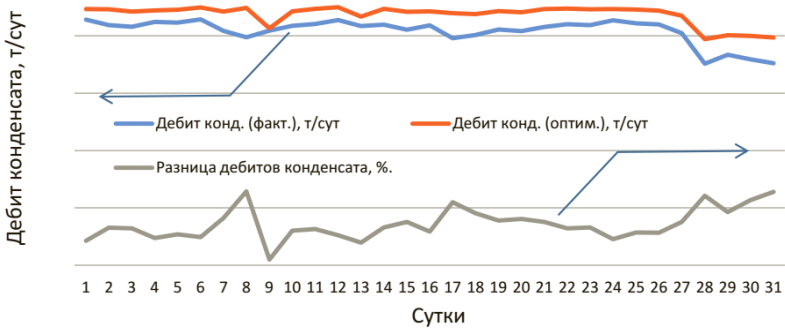


Рисунок 1. Сравнение фактического и оптимального режимов добычи конденсата [5]

### Литература

1. А.Э. Игнатъев, Е.А. Викулова, Н.П. Кузнецов, Р.В. Пепеляев. Моделирование и исследование влияния «конденсатной банки» на продуктивность газоконденсатных скважин с ГРП (Нефтепромысловое дело 9/2011).
2. Phillip L. Moses, Charles W. Donohoe. Gas-Condensate Reservoirs. Chapter 39, P 39.1-39.24.
3. А.И. Брусиловский. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа (М.: «Грааль», 2002, 575 с)
4. С.Н. Закиров. Разработка газовых, газоконденсатных и нефте-газоконденсатных месторождений. (М.: Струна, 1998, 628с.)
5. Рязанцев А.Э. Торопецкий К.В. Платонов Ю.Г. Моделирование технологических режимов работы газоконденсатных скважин. Вестник ЦКР, 2015.№2 с. 20-27.

## **РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ FET**

***Казаков Д.А., Армер А.И.***

*ГОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет  
89093607836., dmitrij.kazakov@outlook.com*

Составление расписания – одна из наиболее распространённых задач в планировании и оптимизации учебного процесса в учебных заведениях. От того, насколько хорошо составлено расписание, зависит эффективность работы преподавателей, усвоение учебного материала студентами, рациональное использование материальных ресурсов.

На данный момент существует множество программных продуктов, которые призваны автоматизировать данный процесс, но стоит отметить, что даже коммерческие системы составления расписания имеют недостатки, заключающиеся в отсутствии возможности составления расписания одновременно несколькими операторами.

Разрабатываемая распределенная система составления расписания учебного заведения на основе системы с открытым исходным кодом FET призвана устранить данные недостатки. В её основу легло свободное программное обеспечение FET, используемое учебными заведениями во всем мире. С использованием интернет - технологий PHP, JQuery, Ajax и MySQL реализуется распределённый интерфейс системы, позволяющий получить более гибкие настройки расписания и дающий возможность одновременной работы над расписанием нескольким операторам. Следует отметить, что язык интерфейса разрабатываемой нами системы – русский. Ведутся работы по использованию разрабатываемой системы составления расписания в нашем университете – УлГТУ.

### **Литература**

1. Костюк В.И., Мартинес Х.О., Зорин В.В. Использование алгоритмов последовательной обработки для составления расписаний / Вопросы создания АСУ ВУЗ. М.: НИИВШ, 1976. – С.3-5.
2. Официальный сайт "Free Evolutionary Timetabling" – <https://lalescu.ro/liviu/fet/>.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

## **ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ И СТРУКТУРИЗАЦИИ ДОКУМЕНТАЛЬНЫХ ПОТОКОВ**

**Капочкин С.В.<sup>1</sup>, Зарипова Е.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НИЯУ МИФИ, Москва, +7(909)679-94-28, several23@mail.ru

<sup>2</sup>НИЯУ МИФИ, Москва, +7(910)4799951, katren.zaripova@gmail.com

Рассмотрены вопросы построения информационно-поисковой системы с использованием алгоритма автоматизированной классификации и распознавания структуры полнотекстовых документов. Описаны выбранные подходы и разработанные на их основе алгоритм идентификации типа документа и алгоритм распознавания его логической структуры, с целью дальнейшей семантической обработки. Предложен многостадийный метод автоматизированного распознавания и формирования модели логической структуры документа. Проведены экспериментальные исследования данного метода на массиве документов.

На сегодняшний день наблюдается рост количества и объемов баз данных полнотекстовых документов, то есть массивов документов с текстовой составляющей на естественном языке, для поиска, хранения и анализа информации пользователем. В качестве примера можно привести фонды электронных библиотек, электронные архивы финансовых расследований и внутренних документов крупных организаций. Документы из последнего примера используются в качестве источников информации о введенных стандартах, различных отчетах деятельности и т.д. Используемые документы можно разделить в соответствии с характером их использования. Одни документы имеют только информационное назначение, другие документы используются при решении аналитических задач, третьи документы являются результатом некоторой проведенной работы [1].

Наиболее распространенными механизмами поиска в базах данных полнотекстовых документов являются: поиск, по ключевым словам, и классификационный поиск [2]. Почти в любой базе данных присутствует поиск, по ключевым словам, однако его эффективность сильно зависит от точности описания пользователем своего запроса на естественном языке. В случае,

если пользователь мало знаком с исследуемой предметной областью или с правилами работы поисковой машины, он не найдет требуемых документов [2]. Классификационный поиск упрощает пользователю формулирование его информационных потребностей и уточняет его запрос [1]. В результате классификации документов в базе данных пользователю доступна тематическая навигация по документам. Это позволит мало знающему пользователю углубляться в искомую предметную область. Также механизм поиска способен используя информацию о классификации документов уменьшать ширину поисковой области, заранее отсеивая нерелевантные документы.

В основе решения данной задачи лежит выделение семантически значимых терминов из текста документа. Формирование модели логической структуры документа позволяет упростить процесс выделения семантически значимых терминов из текста документа, так как выделяя структуру документа, мы можем определить расположение более значимых терминов и сузить область анализа в документе

В данной работе задача классификации документов рассматривается с точки зрения структурно-логического подхода. Анализ основывается на правилах составления документов, характеризующих структуру документа. В качестве правил рассматривается наличие характерных элементов, их последовательность в документе и способ их оформления. Предметная область очень обширна, так как должны быть обработаны массивы документы организаций различных направлений деятельности. На основе нейросетевого подхода, описанного в [3], обработки документов был разработан алгоритм, позволяющий проводить автоматическое выделение и классификацию структурных элементов документов. На текущий момент стоит задача обучения алгоритма, а также расширения пространства документов, их структурных элементов и соответствующих характеристических свойств.

#### Литература

1. Аверькова Т. В., Зарипова Е. В. Н.р.: Максимов Н. В. Методы идентификации структурно-логических элементов документа применительно к задачам ПОД/ФТ. Международная практическая

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность  
конференция сетевого Института в сфере ПОД/ФТ. Угрозы и риски  
мировой экономики. Москва. 2016 г.

2. Голицына О.Л., Информационные системы, Москва: ФОРУМ,  
2009.

3. Ф. Уоссермен., Нейрокомпьютерная техника: теория и  
практика. -184с, М. Мир, 1992.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ ПОИСКА ДЛЯ СЛОЖНЫХ ПОИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ

**Монанков К.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> НИЯУ «МИФИ», Москва  
+7(916)098-96-33., [kmonankov@yandex.ru](mailto:kmonankov@yandex.ru)

Процесс поиска неодноактен, поскольку, в общем случае, реальная информационная потребность может характеризоваться несколькими типами информационной неопределенности [1], что определяет важность последовательности действий и предопределяет наличие стратегии поведения, как глобальную направленность поиска, и тактик пользователя, как выбор конкретных методов и технологий в зависимости от состояния процесса.

В соответствии с характером информационной потребности выделяют три типа задач (сложность возрастает) [1]:

1. поиск документального представления известного знания о существующем объекте;
2. подбор информации по некоторой теме;
3. синтез нового знания путем поиска через отдельные факты в условиях отсутствия четкой структуры понимания темы.

Помимо типа задачи, сложность поисковой ситуации обуславливается особенностями ресурса (разнообразие видов документов, глубина проработанности темы) и интерфейса системы (методы и средства), а также особенностями поведения пользователя и степенью его подготовленности. Стремление обеспечить полноту средств поиска повышает сложность взаимодействия, что предполагает наличие организованности интерфейса, в основу которой могут быть положены поведенческие и деятельностные модели.

Для запросов, имеющих минимальную неопределенность (один вид неопределенности) обычно используется вербальная стратегия поиска, которая предполагает сначала полную формулировку задачи и последующее ее решение. Для более сложных ситуаций используется кластерная стратегия, которая позволяет декомпозировать задачу и постепенно решать наиболее доступные

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

подзадачи путем итеративного обращения к разным объектам, методам и ресурсам информационного пространства, по частям накапливая и систематизируя промежуточные результаты, что дает возможность формулировать (явно выражать) информационную потребность. Это обуславливает необходимость иметь средство для хранения, накопления и использования результатов поиска в следующих итерациях – Когнитивный рубрикатор [2].

Множество ситуаций, определяемых состоянием пользователя по отношению к системе, может быть упорядочено путем условной классификации пользователей. Результаты исследований, в которых предлагается производить классификацию, учитывая способность человека к рефлексии и активности [3], а также оценку информационного и предметного профессионализма [4], показывают существование различия между группами пользователей и выявляют наличие закономерностей в их поведении.

Руководствуясь результатами исследований и применяя обозначенные подходы, будем решать задачу преодоления информационной неопределенности и сложности формирования запроса путем организации визуального операционного пространства и моделирования сценариев решения типовых поисковых задач разными группами пользователей.

#### Литература

1. Максимов Н.В., Забегаева Н.Н. Информационный поиск и модели поведения пользователей // НТИ. Сер. 1. – 2001. – № 11. – С. 10–21

2. Максимов Н.В., Голицына О.Л., Усенко А.Л. Структура и компоненты операционного визуального пространства интерактивного поиска научной информации // Научная визуализация. – 2014. – Т. 6, № 4. – С. 96-106.

3. Коробкина Н.Н. Исследование и разработка информационно-поисковых интерфейсов на основе типологии поведения пользователей: автореф. дис. Москва к.т.н. РГГУ, Москва, 2004

4. Голицына О.Л., Максимов Н.В., Попов И.И. Информационные системы: учеб пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 496 с.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

## **АКУСТИЧЕСКИЙ КАНАЛ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ ЧЕРЕЗ ЖЁСТКИЙ ДИСК**

**Овечкин В.Н., Носов Л.С.**

*ФГБОУ ВО «СГУ им.Путирима Сорокина», г. Сыктывкар  
89041000156, 79041000156@yandex.ru*

Одной из наиболее ценных видов защищаемой информации является речевая информация. Человеческая речь является одним из древнейших, самым естественным и наиболее распространенным способом обмена информации между людьми. Попытки услышать слова, сказанные для чужих ушей, существуют, наверное, столько же времени, сколько и членораздельная, информационно насыщенная речь.

Достижения технического прогресса позволяют сегодня использовать широкий спектр методов и устройств передачи и хранения информации. Несмотря на столь значительное увеличение использования автоматизированных информационных систем, в потоках сообщений сохраняется значительное количество речевой информации. Поэтому и в настоящее время особый интерес вызывает контроль речевой информации, живого разговора. Это связано с рядом специфических особенностей, присущих именно речевой информации и связанных с некоторыми чертами человеческой психики [1].

Цель настоящей работы: изучение акустического канала утечки и, в частности, канала утечки акустической информации через жёсткий диск.

Задачи настоящей работы:

Изучение акустического канала утечки;

Изучение канала утечки акустической информации через жёсткий диск;

Изучение чувствительности жёсткого диска к звуковому давлению;

Изучение явления резонанса жёсткого диска.

Список использованной литературы и источников

Акустический канал утеки информации и защита от подслушивания [Электронный ресурс] // Сайт: Студопедия:



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

URL: [https://studopedia.ru/7\\_37645\\_akusticheskiy-kanal-uteki-informatsii-i-zashchita-ot-podslushivaniya.html](https://studopedia.ru/7_37645_akusticheskiy-kanal-uteki-informatsii-i-zashchita-ot-podslushivaniya.html) (дата обращения: 17.12.2017)

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ТАКТИКЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА СО СТАБИЛЬНОЙ СТЕНОКАРДИЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ**

***Омуров А.Н.<sup>1</sup>, Никитаев В.Г.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *НИЯУ МИФИ, г.Москва  
89259107672, omurovz@gmail.com*

Ишемическая болезнь сердца является чумой последних десятилетий уносящая жизни и/или инвалидизируя трудоспособное население повсеместно [2]. В последние годы происходит тенденция формализации и унификации подходов к диагностике и лечению больных ИБС согласно международным клиническим рекомендациям. В основе создания таких рекомендаций лежит доказательная медицина или другими словами использование результатов рандомизированных плацебо-контролируемых клинических исследований больших популяций, в которых участвуют исследователи разных стран. При ИБС в практике используется несколько клинических рекомендаций и других согласительных документов, которые принимаются и утверждаются большими международными сообществами, такими как европейское общество кардиологов и так далее [4]. В то же время остаются большие трудности в унификации подходов к диагностике и тактике лечения. Индивидуальные особенности проявления заболевания требуют индивидуального подхода к принятию решения по тактике обследования и лечения. Для облегчения и унификации работы кардиолога и терапевта (врачей первичного звена) необходимо использование информационных компьютерных систем, создание систем поддержки принятия решения [1, 3].

Цель исследования:

Разработка системы поддержки принятия решений в тактике обследования и лечения больных ишемической болезнью сердца со стабильной стенокардией напряжения, основанного на существующих национальных и международных клинических рекомендациях.

### Результаты:

Изучение достаточно объемного документа клинических рекомендаций и, главное, способность на практике применить соответствующее решение, не всегда могут быть реализованы в силу тех или иных причин, например – неопытность специалиста, неправильное толкование документа, недостаточное сопоставление индивидуальных особенностей пациента и так далее. Кроме того, сценарий лечения зависит и от многих других факторов, которые врачу зачастую сложно оценить оперативно. Поэтому использование систем поддержки принятия решений помогут избежать данных ситуаций. Программный ассистент, анализируя данные, сможет сопоставить их и подсказать решение быстрее, чем человек. Разработанная система поддержки принятия решений (СППР) при стабильной стенокардии напряжения может оценить риски развития возможных осложнений, риск дестабилизации больного. С его помощью кардиолог может решить вопрос об объеме диагностических манипуляций, правильно интерпретировать результаты обследования для выбора оптимальной тактики лечения больного. СППР можно использовать как обучающую модель у студентов, ординаторов и аспирантов. В конечном результате СППР должна принести большую пользу в оказании своевременной и квалифицированной помощи больным.

### Литература

1. Бессонова Т. В. Методы интеллектуальной поддержки принятия решений в задачах диагностики и лечения хронической сердечной недостаточности. Автореф. Дисс.канд.наук 2008
2. Бокерия Л. А., Гудкова Р. Г. Сердечно-сосудистая хирургия – 2010. – Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения. – М.,: НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН, 2011. – 192 с. 2.
3. Егорова Ю. В. Информационное обеспечение системы поддержки принятия решений в здравоохранении на основе формализации профессиональных знаний. Автореф. Дис.канд.тех.наук. 2008г
4. Рекомендации по лечению стабильной ишемической болезни сердца ESC 2013 г. Российский кардиологический журнал 2014. №7, стр 7-79.

## **ФРАКТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В IT-ТЕХНОЛОГИЯХ ОБРАБОТКИ ПОТОКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

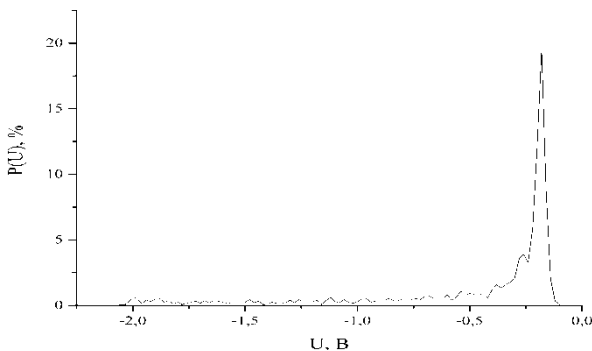
***Подкопаев А.В.<sup>1</sup>, Мышев А.В.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Обнинск*

*конт. тел. +79534647623, e-mail: podkopaev106@mail.ru*

В работе рассматриваются математический аппарат и логические схемы построения моделей алгоритмов и процедур IT-технологий обработки больших потоков экспериментальных данных. Содержательно-смысловой контент методологии построения обозначенных IT-технологий состоит в том, чтобы, во-первых, определить, образует ли параметрически связанный поток экспериментальных данных фрактальную структуру. Если да, то определить оценки информационной и геометрической фрактальной размерности потока, а также процесс перколяции. Во-вторых, выделить наличие монофрактальных или мультифрактальных структур в потоке данных с целью их идентификации по признаку принадлежности к классам перколирующего фрактала или фрактального агрегата [1]. Практическая реализация технологий обработки и анализа экспериментальных данных осуществлена в виде программных компонентов и программных систем. В качестве объектов исследования были выбраны данные осциллограммы, полученные при изучении люминесценции эксимерной молекулы ХеВг\*. Данные осциллограммы отражают значения дискретизированного сигнала от фотоэлектронного умножителя, на фотокатод которого подавалось излучение на длине волны 282 нм, выделенное из спектра излучения газовой смеси Ar-Хе-ССl<sub>4</sub> возбуждаемой пучком электронов [2]. Значения дискретизированного сигнала осциллограммы косвенно отражают поведение интенсивности люминесценции ХеВг во времени в виде набора значений напряжения, измеряемого с шагом в 1 нс. Для выявления фрактальной структуры на множестве экспериментальных данных

были вычислены оценки геометрической и универсальной фрактальной размерности [1]. Для значений сигнала осциллограммы, приведенных на рис.1 в виде полигона, оценка универсальной фрактальной размерности оказалась равной  $V=190.55$ , а геометрической  $\alpha=0.84$ . Распределение вероятности попадания значения  $U_i$  в интервал  $\Delta U = |U_{\min} - U_{\max}| = 1.96$  для заданного набора данных представлено на рис 1.



**Рис. 1** Полигон для значения  $U_i$  в интервал  $\Delta U=1.96В$

Полученные оценки фрактальной размерности в интегральной форме показывают – множество экспериментальных данных образует фрактальную структуру.

#### Литература

1. Мышев А.В. Метрологическая теория динамики взаимодействующих объектов в информационном поле нейросети и нейрона // Информационные технологии. 2012. №4. С. 52–63.

2. Миськевич А. И., Подкопаев А. В. Установка для исследования люминесценции, возбуждаемой заряженными частицами высокой энергии в плотных ксенонсодержащих газовых средах, с возможностью регенерации и повторного использования ксенона // Приборы и техника эксперимента. – 2017. – №. 3. – С. 154-159.

## ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ВЕЙВЛЕТ\_БАЗИСА В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С OFDM- СИГНАЛАМИ НА ПРИМЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ 5G

Рычков Е.Н.<sup>1</sup>, Пирогов Ю.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет, г. Москва*  
*Eu.Rychkov@yahoo.com*

Исследовано влияние вейвлет-базиса в системах связи с OFDM-сигналами на качество приема изображения. На рис. 1, слева направо, показаны оригинальное изображение, результаты приема без ARQ-запросов с использованием Фурье-базиса и вейвлет-базиса. Аддитивный шум может одинаково влиять как на сигнал после Фурье-преобразования, так и на сигнал после Вейвлет-преобразования, поэтому применяется соотношение сигнал шум С/Ш = 100 дБ. Длина преобразования 512 выборок. Вид модуляции – 4-QAM, используется ВСН-кодирование, пилот- и нулевые поднесущие сгенерированы в соответствии со стандартом WiMAX. Длина защитного интервала 1/8. Используется частотная режекция на гармониках с выборками 10...25 (в канале нет привязки к конкретной частоте). Вид вейвлета – bioг 5.5. Исследования проведены с помощью программы, подробно описанной в [1].

На рис. 1 видно, что сигнал на основе вейвлет-преобразования принят с большей помехоустойчивостью, чем сигнал с Фурье-преобразованием.

Это можно объяснить, если вычислить спектр OFDM-сигнала на основе вейвлет-преобразования:

$$S(f) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{1}{C_{\varphi}} \int \int_{-\infty-\infty}^{\infty} S(a,b) \varphi(a,b) da db \right] \cdot e^{-j2\pi ft} dt, \quad (1)$$

где  $C_{\varphi}$  – масштабирующий коэффициент,  $S(a,b)$  – “спектр”, который подвергается обратному вейвлет-преобразованию и куда заложена информация,  $\varphi(a,b)$  – вейвлет-функция,  $f$  – частота сигнала,  $t$  – время. Вейвлет-базис, наравне с техниками

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность кодирования и OQAM-IOTA (алгоритмы 5G) [2], позволяет распределять информацию по спектру сигнала.

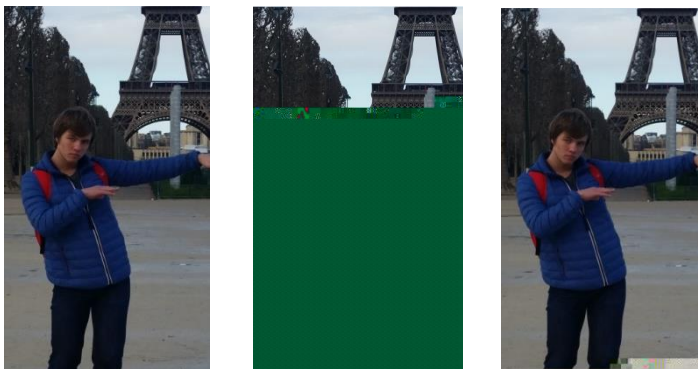


Рис.1. Оригинальное изображение, результаты приема сигналов с Фурье- и вейвлет- базисами (слева направо)

Использование вейвлет-базиса является одним из путей, благодаря которым можно обеспечить, в соответствии с формулой [1], гибридную систему связи, отличную как от OFDM-технологии в классическом понимании, где есть несколько поднесущих частот, так и от других классических систем связи. Это дает выигрыш при использовании в задачах робототехники и Интернете вещей при применении стандартов связи 5G.

### Литература

1. Е.Н. Рычков, В. Г. Патюков Моделирование системы связи с OFDM-сигналами и пути повышения ее помехоустойчивости, Электросвязь, № 12 с. 66-69, М. – 2015.
2. W. Xiang, K. Zheng, X. Shen 5G Mobile Communications, Springer, Switzerland . – 2017.

## **ФРАКТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ПОТОКОВ ДАННЫХ**

***Турицын М.И.<sup>1</sup>, Мышев А.В.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Обнинск*

*8(953)311-51-55, mikhail-turicyn@yandex.ru*

В работе рассматриваются математический аппарат и логические схемы построения моделей алгоритмов и процедур интеллектуальных технологий обработки параметрически связанных больших потоков данных. Основная посылка методологии построения таких моделей и схем состоит в том, чтобы, во-первых, определить, образует ли параметрически связанный поток данных фрактальную структуру (если да, то необходимо определить оценки информационной и геометрической фрактальной размерности потока). Во-вторых, выделить наличие монофрактальных или мультифрактальных структур в потоке данных с целью их идентификации по признаку принадлежности к классам перколирующего фрактала или фрактального агрегата. Фрактальная парадигма в методологии разработки и реализации интеллектуальных технологий обработки, анализа и классификации больших потоков данных, в отличие от традиционных методов и способов, позволяет учитывать как свойства регулярности и нерегулярности структуры пространства состояний информационной шкалы данных потока, так и факторы их сингулярной вариабельности.

Математический аппарат построения моделей алгоритмов и процедур интеллектуальных технологий строится на основе теории фрактальных размерностей. В качестве критерия идентификации фрактальной структуры на потоке данных используются оценки информационной и геометрической фрактальной размерностей [1].

Для исследования и определения масштабов процессов информационной перколяции на фрактальной структуре потока данных разработаны логические схемы алгоритмов процедур



IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность интеллектуальных технологий обработки потока данных и методы анализа обозначенных процессов.

Эти методы и логические схемы позволяют отразить и определить особенности получаемых оценок разных фрактальных мер и размерностей в технологиях интеллектуального анализа потока данных, а также область применения выводов. В этом случае используются два типа фрактальных размерностей – информационная и геометрическая. Информационная фрактальная размерность отражает вариабельность элементов и сингулярные процессы на вероятностном пространстве потока данных. Геометрическая фрактальная размерность отражает вариабельность элементов потока данных относительно цены деления информационной шкалы измерения.

Практическая реализация интеллектуальных технологий обработки и анализа больших потоков данных осуществлена в виде программных компонентов и программных систем. Результаты обработки реальных потоков данных с использованием информационных технологий и программных компонентов позволили показать, как и в чем проявляется синергия пространственной геометрии и информационной насыщенности потока данных, а также описать и объяснить синергетические свойства потока данных в рамках фрактальной парадигмы. Можно ли провести такие аналогии в рамках традиционных моделей, алгоритмов, схем интеллектуальных технологий обработки и анализа больших потоков данных? Если да, то покажите результаты обозначенных аналогий и сформулируйте тренды их теоретического развития и практического продолжения.

#### Литература

1. Мышев А.В. Метрологическая теория динамики взаимодействующих объектов в информационном поле нейросети и нейрона // Информационные технологии. 2012. №4. С. 52–63.

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ ДЛЯ ЕЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ**

***Файзуллин Н.Ф., Рамазанов А.Ш., Садретдинов А.А.***

*Башкирский государственный университет, Уфа  
+7 (937) 488 43 45, [dr.faihmeister@gmail.com](mailto:dr.faihmeister@gmail.com)*

Одной из целей создания математических моделей пластовых систем является решение практических задач, в частности интерпретация данных, полученных в ходе геофизических исследований. Хорошее совпадение расчетных и промысловых данных может свидетельствовать о достоверности модели и понимании процессов, происходящих в пласте и скважине.

В данной работе рассматривается сравнение полевых данных, полученных при испытании газовой скважины и математической модели, включающей в себя модели газовых пластов, ствола скважины, а также соотношения, обеспечивающие связь моделей пластов и скважины.

Уравнение энергии для газонасыщенного пласта учитывает конвективный и кондуктивный теплоперенос и баротермический эффект (эффект Джоуля – Томсона и адиабатический эффект). В стволе скважины учитывается конвективный теплоперенос, конвективный теплообмен с горными породами, термодинамические эффекты и эффект калориметрического смешивания в интервалах притока.

Испытание пласта – это технологический комплекс работ в скважине, связанный со спускоподъемными операциями инструмента, созданием глубокой депрессии на пласт, многоцикловым вызовом притока пластового флюида и отбором глубинных проб с регистрацией диаграмм изменения давления и температуры на забое и в трубах автономными манометрами.

Инструмент был снабжен автономными датчиками давления и температуры, расположенными над кровлей трех интервалов перфорации. На протяжении трех циклов отбора – восстановления была получена информация об изменении температурного поля и поля давления в скважине.

IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность

Вначале, с помощью программного пакета для анализа данных по давлению были получены средние значения фильтрационных параметров в приближении однородного по толщине единого пласта. Затем, с помощью разработанного температурного симулятора удалось получить уточненную информацию об индивидуальных фильтрационных свойствах для всех трех перфорированных интервалов.

В докладе обсуждаются полевые материалы испытания газовой скважины, математическая модель системы «газовые пласты – скважина», результаты численного моделирования и сравнение расчетных и промысловых данных.

#### Литература

1. Рамазанов А.Ш., Валиуллин Р.А., Садретдинов А.А./ Башгосуниверситет; Шако В.В., Пименов В.П./ Московский научный центр Шлюмберже, SPE; Федоров В.Н., Белов К.В./ Сургутнефтегаз: «Термогидродинамические исследования в скважине для определения параметров прискважинной зоны пласта и дебитов многопластовой системы», SPE 136256, доклад 2010 Российской нефтегазовой технической конференции и выставки, Москва, 26-28 октября 2010.

2. Зотов Г.А. Руководство по исследованию скважин. – М.: Наука, 1995.

3. Способ расчета динамической вязкости газов в широком диапазоне давлений / Глумов Д.Н., Стрекалов А.В. // Тюменский государственный университет, кафедра РЭНМ, г. Тюмень. «Нефтегазовое дело», 2011, №1.

4. Sui W. Determining multilayer formation properties from transient temperature and pressure measurements: PhD dissertation, Texas A&M University, 2009.

Подписано в печать 17.04.2018. Формат 60×84 1/16. Изд.  
№ 003-3. Тираж 100 экз. Печ. л. 22,25. Заказ № 52.

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