

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

Современные проблемы физики и технологий

VIII Международная молодежная научная школа-конференция

15–20 апреля 2019 года

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

ЧАСТЬ 2

МОСКВА

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

Современные проблемы физики и технологий

VIII Международная молодежная научная школа-конференция

15–20 апреля 2019 года

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

ЧАСТЬ 2

МОСКВА

NATIONAL RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MEPhI

P.N. LEBEDEV PHYSICAL INSTITUTE OF RAS

Modern Problems of Physics and Technology

VIII International Youth Scientific School-Conference

April 15–20, 2019

BOOK OF ABSTRACTS

PART 2

MOSCOW

УДК 53:539.1:62:004.7
ББК 22.3
М 43

Современные проблемы физики и технологий. VIII-я Международная молодежная научная школа-конференция, 15–20 апреля 2019 г.: Сборник тезисов докладов. Часть 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2019. – 356 с.

Modern Problems of Physics and Technology. VIII International Youth Scientific School-Conference, April 15-20, 2019. Book of abstracts. Part 2. Moscow. MEPhI. 2019 – 356 p.

Сборник тезисов докладов VIII Международной молодёжной научной школы-конференции объединил работы школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках VIII Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы, Инженерно-физические технологии для биомедицины, Ядерная физика и технологии, физика частиц, астрофизика и космофизика, IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность, Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии, Ядерное, электрофизическое приборостроение, машиностроение.

The book of abstracts of the VIII International Youth Scientific School-Conference united the work of schoolchildren, students, graduate students and young scientists, performed in research centers and laboratories of the Russian Federation and foreign countries. In frame of School-Conference subject sections were organized: Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics; Laser physics, solid state physics, optics and plasma physics; IT technologies, intelligent systems, cybersecurity; Engineering physics technologies for biomedicine; Electronics, automatics, spintronics, nanotechnologies; Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering.

Тезисы докладов издаются в авторской редакции
Abstracts are published in the author's edition

ISBN 978-5-7262-2576-0

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2019

Подписано в печать 13.06.2019. Формат 60х84 1/16
Печ. л. 23,25. Уч.-изд. л. 23,25.

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

About the International Youth Scientific School-Conference

International youth scientific schools-conferences "Modern problems of physics and technologies" are held on the basis of the National Research Nuclear University MEPhI and P.N. Lebedev Physical Institute of RAS annually.

The purpose of the scientific school-conference:

- Attraction of young scientists, PhD students and students to discuss actual scientific problems of modern fundamental and applied physics, nuclear, laser, biomedical and IT breakthrough technologies, nuclear and electro physical instrumentation, professional development of future researchers;
- Improving the qualifications of future researchers and involvement youth in science and education, stimulating scientific and technical creative activity.

The world's leading scientists in advanced areas of physics, technology, and education are invited as a school-conference lecturer. The format of the school provides for reports of young scientists in the oral and poster sections. In frame of School-Conference subject sections were organized: Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics; Laser physics, solid state physics, optics and plasma physics; IT technologies, intelligent systems, cybersecurity; Engineering physics technologies for biomedicine; Electronics, automatics, spintronics, nanotechnologies; Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering.

Conference languages - Russian and English

Organizers:

- National Research Nuclear University MEPhI
- P.N. Lebedev Physical Institute of RAS

Co-Chairman of the International Program Committee:

- Mikhail N. Strikhanov – Rector of MEPhI
- Oleg N. Krokhin – Academician of RAS, Scientific Adviser of N.G. Basov Higher School of Physics of MEPhI

International Program Committee

- Kartsev P. F. (MEPhI), executive secretary
- Klimentov S.M. (MEPhI)
- Barbashina N.S. (MEPhI)
- Kargin N.I. (MEPhI)
- Kuznetsov A.P. (MEPhI)
- Misyurin S.Yu. (MEPhI)
- Timoshenko V.U. (MEPhI, Lomonosov MSU)
- Kulchin Yu.N. (Far-East Division of RAS, MEPhI)
- Kurnaev V.A. (MEPhI)
- Kalin B.A. (MEPhI)
- Tikhomirov G.V. (MEPhI)
- Ummarino Giovanni (Politecnico di Torino, Italy, MEPhI)
- Barbero Giovanni (Politecnico di Torino, Italy, MEPhI)
- Fojtik A. (Technical University Liberec Czech Republic, MEPhI)
- Kabashin A.V. (CNRS, France, MEPhI)

Co-Chairman of the International Organizing Committee:

- Irina N. Zavestovskaya - Head of N.G. Basov Higher School of Physics of MEPhI
- Igor I. Yashin - Professor of Scientific & Educational Centre NEVOD

International Organizing Committee

- Fronya A.A. (MEPhI, LPI RAS), executive secretary
- Aleshchenko Yu.A. (LPI RAS, MEPhI)
- Evsovich A.V. (MEPhI)
- Karpov N.V. (MEPhI)
- Rodionova O.V. (MEPhI)
- Grigorieva M.S. (MEPhI)
- Alykova A.F. (MEPhI)
- Kutsenko K.V. (MEPhI)
- Genisaretskaya S.V. (MEPhI)
- Klimov V.V. (MEPhI)
- Vasil'evskii I.S. (MEPhI)

Содержание/Content

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

MATHEMATICAL MODELLING OF FUEL ROD REGIME DURING PARTIAL UNCOVERED INDUSTRIAL POWERED RESEARCH REACTOR CORE	
<i>Akinola O.N.</i>	25
ANALYSIS OF REACTIVITY FEEDBACKS IN A SODIUM FAST REACTOR USING SERPENT CONTINUOUS-ENERGY MONTE CARLO PARTICLE TRANSPORT CODE	
<i>Akpuluma A.D., Smirnov A.D., Tikhomirov G.V.</i>	26
MODELING OF THERMAL-HYDRAULIC PROCESSES IN THE REACTOR CORE OF BREST-1200	
<i>AL- Hjouj D.M., Меринов И.Г.</i>	27
INSTANTANEOUS EMERGENCY SITUATIONS IN VVER-1000 AND THEIR CONSEQUENCES	
<i>Amer D. A., Nikonov S. P.</i>	29
USING SERPENT2 BUILT-IN CAPABILITIES FOR SIMULATION OF THE ONLINE REPROCESSING AND REFUELING IN THORIUM-FUELED MOLTEN SALT REACTOR	
<i>Ashraf O., Smirnov A.D., Tikhomirov G.V.</i>	32
FEASIBILITY USING THE PROJECT «CRACKS UNDER CONTROL» IN NPP EQUIPMENT SAFETY	
<i>Ayman Ahed Abu Ghazal, Surin V.I.</i>	34
TOLERANT FUEL INFLUENCE ANALYSIS TO VVER LATTICE MULTIPLYING PROPERTIES	
<i>Chukwudobe. L.O</i>	36
POSSIBILITIES OF SPECTRAL REGULATION IN VVER-1000 WITH THE HELP OF WATER REPLACER	
<i>Elazaka A.I., Tikhomirov G.V.</i>	37
VVER 1000 FUEL BURNUP EFFICIENCY ANALYSIS A CASE STUDY OF DISCRETE LATTICE CHANGING DURING EXPLOITATION	
<i>Festus Ocheme</i>	39
INTENSIFICATION OF MIXING IN BUNDLES OF RODS LONGITUDINALLY BY ARTIFICIAL ROUGHNESS	
<i>Ghadbane A., Maslov Y. A., Merinov I. G.</i>	40

Содержание/Content

REYNOLDS STRESS TURBULENCE MODEL APPLIED TO SINGLE-PHASE FLOW IN VVER FUEL ASSEMBLY WITH SECTORIAL MIXING GRID TYPE <i>Ghadbane A., Maslov Y.A., Merinov I.G.</i>	41
CFD MODELING OF GAS AND AEROSOL EMISSIONS PLUME RISE OF STACK IN NUCLEAR POWER PLANT <i>Harahshah .K.W</i>	42
CRITICALITY SAFETY PARAMETRIC ANALYSES OF SPENT FUEL STORAGE POOL FOR VVER-440 <i>Kaprinayová K., Farkas G., Křištofová K ,Hausner P.</i>	43
INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF RICH GALAXY CLUSTERS FROM CfA2 REDSHIFT SURVEY <i>Khanh L.N., Arkhangelskaja I.V., Galper A.M.</i>	45
INSTALLATION FOR STUDIES OF HYBRID THORIUM REACTOR WITH A SOURCE OF THERMO-NUCLEAR NEUTRONS BASED ON A MAGNETIC TRAP <i>Lutsik I.O., Arzhannikov A.V., Shamanin I.V., Bedenko S.V., Shmakov V.M., Knyshev V.V.</i>	47
STRIPPING OF 6,7LI NUCLEI IN NUCLEAR PHOTOGRAPHIC EMULSION <i>Mekhimar M., Ahamed Y., El-Sharkawy S., Hegab M.K., Osman OM.</i>	49
A NEUTRONIC COMPARISON OF USING URANIUM, PLUTONIUM WITH AND WITHOUT A THORIUM DOPED FOR HIGH TEMPERATURE GAS COOLED REACTOR (HTGR) FUEL KERNEL <i>Mohamed H.M. Salem, Volkov Yu.N.</i>	50
DISCRIMINATING MOX FUEL FROM LEU FUEL FOR SAFEGUARDS PURPOSES USING SERPENT CODE <i>Nimer H.H., Demin V. M, Abu Sondos, M. A,</i>	51
COMPUTATIONAL ANALYSIS OF THE KALININ-3 COOLANT TRANSIENT BENCHMARK: SWITCHING-OFF OF ONE OF THE FOUR OPERATING MAIN CIRCULATION PUMPS AT NOMINAL REACTOR POWER USING SKETCH- N/SKAZKA CODE <i>Ojinnaka C. A.S., Zimin V.G., Nikonov S.P.</i>	53
DNA DAMAGE IN AQUEOUS SOLUTIONS AS A RESULT OF INDIRECT ACTION OF IONIZING RADIATION <i>Omar M. Kotb, Sofia V. Paston</i>	55

Содержание/Content

AP1000 CORE DESIGN DEVELOPMENT FOR HIGHER BURN-UP AND LONG OPERATIONAL CYCLE LENGTH

Rowayda F. Mahmoud, Mohamed K. Shaat, M.E. Nagy, S.A.

Agamy

57

GEANT4-BASED SIMULATION STUDY OF ENERGY RESOLUTION OF THE SPACAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER MODULE

Shmanin E., Golutvin A., Guz Yu., Shatalov P.

58

THE REDUNDANCY SYSTEM OF THE LOWER LEVEL IN THE AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM (ASUTP APCS) - HARDWARE AND SOFTWARE

Usman Yusuf

60

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ В ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ ТИПА ВВЭР НА ГЛУБИНУ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА И СКОРОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ АКТИНИДОВ

Абукхдаира Т.М., Стогов Ю.В.

61

РАСЧЕТ РИСКОВ ПРИ ОБРАЩЕНИИ РАО НА ЯТЦ

Алабд Лааль А. Р., Зубарев В.Н.

63

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ВОЛН МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИ- НЕНИЯХ ИЗ СТАЛИ МЕТОДОМ КОНТАКТНОЙ ПОТЕН- ЦИОМЕТРИИ

Алвахеба А.И., Бекетов В. Г., Иванов О.В. , Иванова Т.Е.,

Сурин В.И.

65

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АДРОННЫХ КАСКАДОВ В КАЛОРИМЕТРЕ СПЕКТРОМЕТРА ПАМЕЛА, ПОЛУЧЕННЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ И МОДЕЛИРОВАНИИ GEANT4

Алексеев В.В., Майоров А.Г. от имени коллаборации ПАМЕЛА

67

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ

ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА СО СЛОЖНОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СТРУКТУРОЙ

Алексеев Н.В., Беденко С.В., Кнышев В.В., Луцик И.О.,

Каренгин А.Г., Шаманин И.В.

69

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВОГО РЕАКТОРА С ЗАСЫПКОЙ ИЗ ШАРОВЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОГРАММЕ SERPENT

Аль Гхафер М.М., Смирнов А.Д., Тихомиров Г.В.

71

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ НА АЭС В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Альсльман М.А., Самохин Д.С.

73

Содержание/Content

КРАТНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ ДОЗЫ ФОТОНОВ В БЕТОНЕ
ДЛЯ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ С
ЭНЕРГИЯМИ ОТ 10 ДО 90 МЭВ

Альхагаши И.Х., Сахаров В.К.

75

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕЙ НЕЙТРОНОВ ЗАЩИТЕ ИЗ
ЖЕЛЕЗА ОТ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ
ФОТОНОВ

Альхагаши И.Х., Сахаров В.К.

76

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ
БОРНОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ВЫХОДЕ НА МКУ

Аль-Шамайлах А.И.АА. , Соловьев Д.А. , Семенов А.А. ,
Джарум Б. , Щукин Н.В. , Савандер В.И.

78

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ
СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ
МЮОННОГО ГОДОСКОПА УРАГАН

Аношина Е.С., Борог В.В., Шутенко В.В., Яковлева Е.И.

79

ВОВЛЕЧЕНИЕ В СОСТАВ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ
ЛЕГКОВОДНЫХ РЕАКТОРОВ ПРОТАКТИНИЯ И
НЕПТУНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ВЫГОРАНИЯ
ТОПЛИВА

Баатар Т., Куликов Е.Г.

81

МИНЕРАЛЬНО - СЫРЬЕВАЯ БАЗА УРАНА МАССИВА
ХОГГАР (АЛЖИР)

Бадахмауи Т., Бугриева Е. П.

83

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБЛИЖЕНИЙ
ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТВС ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА
НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ
ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Бани Хамад С.А., Демин В.М., Абу Сондос М.А.,

85

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Беррекси Р. , Уахиун М., Лаидани З.

87

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ НЕЙТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ
ШАЛ С ОТКЛИКОМ В ЧВД НЕВОД

Богданов Ф.А., Булан А.В., Громушкин Д.М.

89

МЕТОДЫ ПОНИЖЕНИЯ ДИСПЕРСИИ В ЗАДАЧАХ
ГЛУБОКОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Богданова Е.В., Тихомиров Г.В.

91

ПОЛНАЯ ЭНЕРГИЯ ДЕЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ГЛУБИНЫ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА ВВЭР-1000

Богданович Р.Б., Герасимов А.С., Тихомиров Г.В.

93

Содержание/Content

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМИ АГРЕГАТАМИ КИПАЮЩЕГО СТЕНДА

Бондарь П.С., Просвилов Н.О.

95

ЗОНД ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ О ЯВЛЕНИИ ПРОБОЯ НА УБЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОНАХ В СТРАТОСФЕРЕ.

Брюханов К.А., Курмашева Т.А.

97

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБСТАНОВКИ НА ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Бушама Л., Дмитриева А.Н., Громушкин Д.М.

99

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ОРГАНА РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ДИНАМИКУ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Володин В.С., Толоконский А.О., Вердян А.Г.

101

КАМЕРА АТМОСФЕРНОГО ЧЕРЕНКОВСКОГО ТЕЛЕСКОПА TAIGA-IAST: СТАТУС

Волчуглов П.А. от коллаборации TAIGA

103

О ПОЛУЧЕНИИ РЯДА ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ ФИЗИКИ ИЗ ПРИНЦИПА AB INITIO

Воронцов В. А.

105

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССООБМЕНА В СИСТЕМЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СВЯЗАННЫХ КАНАЛОВ НА ПРИМЕРЕ КАССЕТЫ ИРТ-ЗМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИР-8

Глыва К.И., Никонов С.П.

107

РЕЗОНАНСНАЯ МОДЕЛЬ СВЯЗАННЫХ КАНАЛОВ В ЗАДАЧЕ РАССЕЯНИЯ $D+^3\text{He}$ ВБЛИЗИ УРОВНЯ $(3/2)^+$ ЯДРА ^5Li

Годес А.И.

109

УТИЛИЗАЦИЯ И ИММОБИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В МАТРИЦЕ ИЗ ХЛОРИДОВ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЫ

Головков Н.И., Тихонов А.Е., Новоселов И.Ю.

111

РЕГИСТРАЦИЯ КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ МАГНИТНЫМ СПЕКТРОМЕТРОМ PAMELA

Голуб О.А., Майоров А.Г.

113

Содержание/Content

ВЫХОД АТОМОВ ОТДАЧИ 99МО В РЕАКЦИИ
100МО(Р,НР)99МО ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НАНОПЛЕНОК МО
В ЦИКЛОТРОНЕ

Дергачева А.Е., Артюхов А.А., Загрядский В.А., Кравец Я.М.,
Кузнецова Т.М., Рыжков А.В., Удалова Т.А., Чувиллин Д.Ю. 114

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МИНИМИЗАЦИИ ВОДООБМЕНА ПРИ
УПРАВЛЕНИИ МОЩНОСТЬЮ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

Джарум Б., Соловьев Д.А., Семенов А.А.,
Аль-Шамайлах А.И., Щукин Н.В., Савандер В.И 116

ТРУДНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ
НАРУШЕНИЙ НЕРАВЕНСТВ ВИГНЕРА НА СОСТОЯНИЯХ
ПАР НЕЙТРАЛЬНЫХ КАОНОВ

Ефимова А.Ю. 118

РАЗРАБОТКА СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ВЫБОРУ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕАКТОРОВ
НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Ефремов В.В., Субботин С.А. 120

ПРЕДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ЗАХВАТА ПРОТОНОВ
В РАДИАЦИОННОМ ПОЯСЕ ЗЕМЛИ

Жараспаев Т.Р. 122

ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ
КОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ
АНТИНЕЙТРИНО НА ЯДРАХ КСЕНОНА НА
КАЛИНИНСКОЙ АЭС

Кдиб Д. Э. 124

МЕТОДОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СУММАРНОГО Е-
Е+ СПЕКТРА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ В ПРИБОРЕ ПАМЕЛА

Клейменова С.О., Михайлов В.В. 126

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ И НЕЙТРОННОЙ
НАГРУЗКИ НА ПОКРЫТИЯ МИКРОТОПЛИВА ПРИ
ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Кнышев В.В., Алексеев Н.В., Зорькин А.И., Беденко С.В. 128

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
ГЕТЕРОГЕННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Кузнецова М. Е., Алексеев Н.В., Беденко С.В. 129

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ
АНАЛИЗА ДАННЫХ СИСТЕМЫ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО
КОНТРОЛЯ

Кузнецова М.Е., Веселов М.С., Луцик И.О., Беденко С.В. 130

Содержание/Content

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ ПАРА ПРИ ФОТОТЕРМИЧЕСКОМ НАГРЕВЕ НАНОЖИДКОСТИ <i>Кузьменков Д.М., Зейналян К.С., Стручалин П.Г., Шорников Д.П., Куценко К.В., Балакин Б.В.</i>	132
РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ПОГЛОЩЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ГРАФИТОВОЙ НАНОЖИДКОСТИ <i>Кузьменков Д.М., Куценко К.В., Балакин Б.В.</i>	134
СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТА NA62 (CERN). АНАЛИЗ РАСПАДА КАОНА $K^+ \rightarrow l^+ N$ <i>Курочка В.Л.</i>	136
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОМ КОНТУРЕ <i>Лауар С., Мукич С.А., Сакиб М.Н., Марченко А.С., Балакин Б.В., Куценко К.В.</i>	137
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОМ КОНТУРЕ <i>Лауар С., Сакиб М.Н., Мукич С.А., Марченко А.С., Делов М.И., Куценко К.В.</i>	139
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИГГЕРА ЯДРО - ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА VM@N С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ПРОГРАММ GEANT4 + QGSM <i>Лащманов Н.А., Юревич В.И., Седых С.А., Лобастов С.П., Рогов В.Ю., Богословский Д.Н., Сергеев С.В., Тихомиров В.В., Тимошенко А.А.</i>	141
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙТРОННОГО РЕЗОНАНСНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ФИБУЛЫ (10 ВЕК Н.Э) <i>Мажен С.Т., Борзаков С.Б., Ергашов А.М., Мареев Ю.Д., Седышев П.В., Симбирцева Н.В., Сапрыкина И.А.</i>	143
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ 1S-2S В МЮОННОМ ВОДОРОДЕ И ИОНАХ МЮОННОГО ГЕЛИЯ <i>Мартыненко Ф.А., Сухорукова О.С., Дорохов А.Е., Мартыненко А.П., Фаустов Р.Н.</i>	145
ПРОЕКТ ДЕТЕКТОРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ СВЕТОСОБИРАЮЩИХ ВОЛОКОН <i>Меширауи С., Богданов Ф.А., Громушкин Д.М., Юрин К.О., Яшин И.И.</i>	147

Содержание/Content

РЕЖЕКЦИЯ ПРОТОНОВ В ЭЛЕКТРОННОМ КАНАЛЕ ГАММА-400

Михайлова А.В., Леонов А.А., Михайлов В.В., Хеймиц М.Д. 149

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРОВИНЦИИ МЕРСИН (ТУРЕЦКАЯ РЕСПУБЛИКА) ПЕРЕД ВВОДОМ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ АЭС АККУЮ

Момот О.А., Мустафа Гюдер, Куприянов В.М., Сынзыныс
Б.И., Удалова А.А., Самохин Д.С. 151

ДИАГНОСТИКА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ТЕПЛООТДАЧИ В НЕДОГРЕТОЙ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕНИЯ ВОДЕ

Мурадян К.Ю., Навасардян М.В., Делов М.И., Кузьменков
Д.М., Лаврухин А.А., Куценко К.В. 153

МЕТОДИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ ПО ДАНЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА РАМЕЛА ЗА 2006-2016.

Мухин П.Е., Михайлов В.В. 155

СИГНАЛЫ ОТ ОДИНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ИОНИЗАЦИИ В ДВУХФАЗНОМ ЭМИССИОННОМ ДЕТЕКТОРЕ РЭД-100

Ницета Д.А. 157

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАНОСТРУКТУР С ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Полетаев Д.А., Соколенко Б.В., Старосек А.В.,
Войтицкий В.И. 158

НЕЙТРОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВА СО СЛОЖНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Полозков С.Д., Беденко С.В., Кузнецова М.Е., Беденко Д.Н. 160

ОРБИТЫ ГРАВИТИРУЮЩИХ КОНФИГУРАЦИЙ С НЕДОСТАТКОМ ПРЕЦЕССИИ

Поташов И.М., Цирулёв А.Н., Чемарина Ю.В. 162

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДУЛЯ CRIMR-SERPENT МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОГО РАСЧЕТНОГО КОМПЛЕКСА НА МОДЕЛИ РЕАКТОРА БН-600 ИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО БЕНЧМАРКА МАГАТЭ

Пугачев П.А., Романенко В.И., Смирнов А.Д., Тихомиров Г.В. 164

Содержание/Content

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ ЯЧЕЕК ВВЭР В СУТОЧНОМ ГРАФИКЕ МАНЕВРИРОВАНИЯ ДВУМЯ ПРОГРАММАМИ GETERA И WIMS	
<i>Рахман Ск Анисур, Увакин М.А</i>	166
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА АНТИПРОТОНОВ И ПОИСКА АНТИДЕЙТРОНОВ И АНТИГЕЛИЯ В ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА ПАМЕЛА (2006 - 2016)	
<i>Роденко С.А., Майоров А.Г от имени коллаборации ПАМЕЛА</i>	168
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДНЫХ МИКРОЧАСТИЦ ПЫЛИ МЕТЕОРИТА «ЧЕЛЯБИНСК»	
<i>Савостеенко Г.А., Таскаев С.В., Горькавый Н.Н., Дудоров А.Е.</i>	170
ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВКИ TAIGA- HiSCORE К ИЗВЕСТНЫМ ГАММА-ИСТОЧНИКАМ В ТЭВ- ДИАПАЗОНЕ	
<i>Самолига В.С.</i>	172
АНАЛИЗ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТВС РУ ВК-50 ДО 7-МИ ЛЕТ В РАСШИРЕННОЙ АКТИВНОЙ ЗОНЕ	
<i>Скрябин А.А., Ефимов Е.И.</i>	174
НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩЕГОСЯ РЕАКТОРА В ПРОГРАММЕ SERPENT	
<i>Смирнов А.Д., Тихомиров Г.В., Кувагаки К., Обара Т.</i>	177
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА ОБРАЗЦОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ РЕАКТОРА ИРТ-Т	
<i>Смольников Н.В., Аникин М.Н., Наймушин А.Г., Лебедев И.И.</i>	179
СОЗДАНИЕ ФИЛЬТРА НЕЙТРОНОВ ДЛЯ НТЛ КРЕМНИЯ МАЛОГО ДИАМЕТРА НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т	
<i>Смольников Н.В., Аникин М.Н., Наймушин А.Г., Лебедев И.И. Варлачев В.А.</i>	181
ОБРАЗОВАНИЕ СГУСТКОВ КВАРК-ГЛЮОННОЙ МАТЕРИИ В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СОУДАРЕНИЯХ	
<i>Созинов Е.С.</i>	183
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ Fe ₃ O ₄ НА РАСХОД ПАРА ПРИ КИПЕНИИ НАНОЖИДКОСТИ	
<i>Стручалин П.Г., Тон Х., Кузьменков Д.М., Делов М.И., Куценко К.В., Балакин Б.В.</i>	185

Содержание/Content

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

Суханов М. А., Каплин В. А. 187

СВЕРХТОНКАЯ СТРУКТУРА СПЕКТРОВ ЭНЕРГИИ ЛЕГКИХ МЮОННЫХ АТОМОВ

Сухорукова О.С., Дорохов А.Е., Мартыненко А.П.,
Мартыненко Ф.А. 189

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВВЭР-1000

Танааш Хамза 191

О РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ РАДИОПУЛЬСАРОВ

Тимиркеева М.А., Малов И.Ф. 193

СВИДЕТЕЛЬСТВА ЧЕТВЕРНОГО КЛАСТЕРНОГО РАСПАДА 252CF(SF)

Томас А.Д., Пятков Ю.В., Каманин Д.В., Александров А.А.,
Александрова И.А., Горьянова З.И., Кузнецова Е.А.,
Стрекаловский А.О., Стрекаловский О.В., Жучко В.Е. 195

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КРИТИЧЕСКОГО ЧИСЛА РЭЛЕЯ ОТ ДИАМЕТРА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Тюрина И.А., Кузьменков Д.М., Делов М.И., Куценко К.В. 197

РАЗВИТИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕСТОВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММЫ MCSU-PTR ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СУПЕРКРИТИЧЕСКОГО ВОДООХЛАЖДЕМОГО РЕАКТОРА HPLWR

Ф. Т. Фам, Г. В. Тихомиров 199

НОВЫЙ ВЫСОКОСЕКМЕНТИРОВАННЫЙ БЛИЖНИЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА T2K

Федотов С., Костин А., Смирнов А. 201

АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ К ВОДЕ ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Хассан А.А., Деев В.И., Баисов А.М. 203

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Чудинова В.А., Никонов С.П. 206

МОЩНЫЕ ГЕЛИОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ МАКСИМУМА 24-ГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Щеголева А.Г., Барбашина Н.С., Коновалова А.Ю.,
Мишутина Ю.Н. 208

Содержание/Content

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТОРА ВВЭР - 1000

Элсаламуни Н. 210

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ СОЛНЦА

Юлбарисов Р.Ф., Майоров А.Г. 212

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

Electronics, automatics, spintronics, nanotechnologies

DEVELOPING K-ION BATTERIES FOR ENERGY STORAGE

Abramova E.N., Rupasov D.P., Abakumov A.M. 215

THE STUDY OUTLINES THE REGULATION OF VVER – 1000 REACTOR LEVEL CONTROL IN THE DEAERATOR OF BORIC REGULATION TKS71

Dghaimat L.H., Tolokonnskiy A.O. 216

GALLIUM NANOPARTICLE-MEDIATED REDUCTION OF BRAIN SPECIFIC SERINE PROTEASE-4 IN AN EXPERIMENTAL METASTATIC CANCER MODEL

Moustafa E.M., Mohamed M A., Thabet N.M. 218

TUNING OF ELECTRONIC PROPERTIES OF C₂₀ CAGE VIA MULTIPLE DOPING: DENSITY FUNCTIONAL STUDY

Salem M.A. 221

MODEL PREDICTIVE CONTROLLER (MPC)

Zaher.L, Abdulraheem K.K, Korolev S.A. 223

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ C₆₀ В ИК ДИАПАЗОНЕ

Арутинов Н.Э., Гурченко В.С. 224

ПЕРПЕНДИКУЛЯРНАЯ МАГНИТНАЯ АНИЗОТРОПИЯ В СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ Dy/Co

Баркалова А.С., Савицкий А.О., Дровосеков А.Б., Крейнс Н.М.,
Макарова М.В., Проглядо В.В., Кравцов Е.А. 226

СТРУКТУРА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ МОЛЕКУЛАМИ КОРОНЕНА

Белекеев И.А., Беленков Е.А. 228

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА, СОДЕРЖАЩЕГО УГЛЕРОДНЫЕ НАНО ТРУБКИ

Боков К. А., Бузмакова М. М. 230

Содержание/Content

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ ИТТРИЯ С ФУЛЛЕРЕНАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ Si(111)- $\alpha\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Au <i>Бондаренко С.В.</i>	232
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРАКТАЛЬНОЙ ОСТРОВКОВОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ НАНОПЛЕНКИ <i>Бухаров Д.Н., Кучерик А.О., Новикова О.А.</i>	234
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ <i>Гавриков А.А., Смирнов В.И.</i>	236
УГЛЕРОДНЫЕ, КРЕМНИЕВЫЕ И БОР-НИТРИДНЫЕ ПРИЗМАНЫ: КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ <i>Гришаков К.С.</i>	238
ЛАЗЕРНАЯ ПЕЧАТЬ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ <i>Дежкина М.А., Комленок М.С., Рыбин М.Г., Пивоваров П.А., Арутюнян Н.Р., Попович А.Ф., Образцова Е.Д., Конов В.И.</i>	240
АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ <i>Деркунский П.А., Толоконский А.О.</i>	242
ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Te}_2$ ($x = 0; 0.5; 1$) <i>Доможирова А.Н., Махнев А.А., Шредер Е.И., Лукоянов А.В., Наумов С.В., Семянникова А.А., Чистяков В.В., Huang J.C.A., Марченкова Е.Б., Марченков В.В.</i>	244
ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО ОТРАЖЕНИЯ ГИБКИХ МДС С НАНОМЕТРОВЫМ ПРОВОДЯЩИМ ПОКРЫТИЕМ <i>Иванов Р.А., Морозов С. И., Фитаев И.Ш.</i>	246
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ <i>Иванова П.С., Янковский К.И.</i>	248
МОДЕЛИРОВАНИЕ САМООРГАНИЗАЦИИ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ В ВЫСЫХАЮЩЕЙ НА ПОДЛОЖКЕ КАПЛЕ <i>Колегов К.С., Бараиш Л.Ю.</i>	250
РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕНСОРОВ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩЕГО ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА <i>Коноваленко С.П., Бедная Т.А.</i>	252
УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ МЫШЕЧНОГО ОТВЕТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ <i>Коняшкина К.В.</i>	254

Содержание/Content

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ФУЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ <i>Кратко А.О., Горбунов Н.Г., Тютюник А.С.</i>	256
РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ НОВЫХ ПОЛИМОРФНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ГРАФИНОВЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ L ₅₋₇ ГРАФЕНА <i>Курманов С.Р., Беленков Е.А.</i>	258
ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОФАЗНОГО СИНТЕЗА ЛЮМИНОФОРА (Sr _{0,98} Eu _{0,02})Ga ₂ S <i>Марьин А.П., Марьина У.А.</i>	260
МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НАНОЧАСТИЦЫ В МАТРИЦЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ <i>Мустафаев А.Г., Мустафаев Г.А.</i>	262
СУММАТОР-МУЛЬТИПЛЕКСОР БЛОКА ЭЛЕКТРОНИКИ КЛАСТЕРА УСТАНОВКИ НЕВОД-ШАЛ <i>Пасюк Н.А., Компаниец К.Г., Шульженко И.А.</i>	264
ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ НЕТКАНЫХ ПЛЕНОК ИЗ НЕЙЛОНА 11, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА <i>Перунова С.В., Павлова Е.Р., Багров Д.В.</i>	266
УСЛОВИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД <i>Пушин Д.В., Гунько М.С., Назаров М.А.</i>	268
ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ <i>Русаков Д.Ю., Чернушин В.А., Нахабов А.В.</i>	270
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЕВЫХ ПОЛИМОРФОВ НИТРИДА БОРА <i>Ряшенцев Д.С., Беленков Е.А.</i>	272
РАСЧЕТ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТОНКОЙ ПРОВОДЯЩЕЙ ПРОВОЛОКИ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С УЧЕТОМ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ФУКСА <i>Савенко О.В., Кузнецова И.А.</i>	274
ВЛИЯНИЕ ПРОСЛОЕК Cr НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО ФЕРРИМАГНЕТИКА Fe/Gd <i>Савицкий А.О., Дровосеков А.Б., Крейнс Н.М., Холин Д.И., Макарова М.В., Проглядо В.В., Кравцов Е.А.</i>	276

Содержание/Content

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕХАТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ОРГАНИЗАЦИИ ЭНТЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЧЕРЕЗ НАЗОГАСТРАЛЬНЫЙ ЗОНД <i>Савостеенко Н.В., Усынин Ю.С., Дудкин М.М., Максимов Н.М.</i>	278
ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА Mn_2YAl И Co_2FeZ <i>Семянникова А.А., Ирхин В.Ю., Доможирова А.Н., Перевозчикова Ю.А., Коренистов П.С., Марченков В.В.</i>	280
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА <i>Силкин А.В.</i>	282
ПРИРОДА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ $\lambda=640-670$ НМ <i>Слипченко Е.А., Сорокин Т.А., Абрамова Е.Н., Яковенко А.Г., Хорт А.М.</i>	284
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОИНТЕРКАЛИРОВАННОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО ГРАФЕНА <i>Смирнова Д.А., Беленков Е.А.</i>	286
ФОРМИРОВАНИЕ NV-ЦЕНТРА В АЛМАЗЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕОРТОГОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СИЛЬНОЙ СВЯЗИ <i>Смирнова М.О., Голованов А.В., Лупарев Н.В., Тарелкин С.А., Трофимов С.Д., Трощев С.Ю.</i>	288
ПОРТАТИВНЫЙ КОНЦЕНТРАТОР КИСЛОРОДА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОЙ МЕМБРАННО-СОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ <i>Тишин А.А.</i>	290
СОЗДАНИЕ ОДНОКНТУРНОЙ АСР С ПИ-ПОДОБНЫМ НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ <i>Ткачев К.М., Королев С.А., Толоконский А.О.</i>	292
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ СТЕРЖНЕПОДОБНЫХ ЧАСТИЦ <i>Чиркова В.В.</i>	294
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРА МОДИФИЦИРОВАННОГО ГРАФЕНА <i>Шарин Е.П., Евсеев К.В.</i>	296

Содержание/Content

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОРООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕКСТУРИРОВАННЫХ И ПОЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ КРЕМНИЯ

Шишкин И.А., Лизункова Д.А.

298

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СКРУЧЕННЫЕ МАГНИТНЫЕ СОСТОЯНИЯ В СВЕРХРЕШЕТКЕ Fe/Gd

Юрканов Д.В., Савицкий А.О., Дровосеков А.Б., Крейнес Н.М.,
Холин Д.И.

300

Ядерное, электрофизическое приборостроение, машиностроение

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Белендрясова Е.Г., Панасенко Р.А., Тутнов И.А., Ануфриев Б.Ф.

303

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Белендрясова Е.Г., Панасенко Р.А., Ануфриев Б.Ф., Тутнов И.А.

305

ТЕРМОПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ОБРАЗЦОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА СЖАТИЕ

Белендрясова Е.Г., Панасенко Р.А., Ануфриев Б.Ф., Тутнов И.А.

307

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ПОРОШКОВ В ПРОЦЕССЕ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Бирюков А.П., Родько И.И., Божко Ю.В., Барышев Г.К.,
Черных П.О., Кормашова Д.И.

309

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Гошкодеров В.А., Гошкодерова Е.А., Сурин В.И.

311

3D-ПРИНТЕР ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МАЛЫХ ЖИЛЫХ И ПОДСОБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Ефремов Н.С., Николаенко А.В., Бирюков А.П., Юдин И.А.,
Конашенкова Н.А., Герасимов Д.Ю.

313

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ОСУШКИ

ПРИРОДНОГО ГАЗА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К СЖИЖЕНИЮ

Карасева М.Д., Гуркин В.Н.

315

Содержание/Content

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ ПРИ ВХОДНОМ КОНТРОЛЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБ <i>Клауз А.В., Бирюков А.П., Токарев А.Н., Мошев А.А., Черных П.О., Герасимов Д.Ю.</i>	317
ПРИМЕНЕНИЕ КПЭ В ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА <i>Комоликов А.С., Козырь И.Г., Кузенков С.Е.</i>	319
ЦИФРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО ТВЭЛОВ С ПЕРСПЕКТИВНЫМИ ВИДАМИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА <i>Корепин Я.Д., Максимкин А.И., Белендрясова Е.Г., Берестов А.В., Очеретько В.Е., Жуковский Ю.О.</i>	321
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВК-300 <i>Костюченко К.С.</i>	323
РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДА ЛОКАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ТВЭЛАХ ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДОМ <i>Максимкин А.И., Белендрясова Е.Г., Кудрявцев Е.М., Аблеев А.Н., Толстов М.С., Герасимов Д.Ю.</i>	324
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВОГО СОСТАВА В ТВЭЛАХ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ <i>Максимкин А.И., Аблеев А.Н., Мартыненко С.П., Мартыненко С.С., Родько И.И., Губина Т.В.</i>	326
СИНХРОННОЕ ДВИЖЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ С УЧЕТОМ СИЛ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ <i>Мисюрин С.Ю., Крейнин Г.В., Нелюбин А.П., Носова Н.Ю.</i>	328
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МОДУЛЯ ЮНГА И ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ОБОЛОЧКИ ТВЭЛА РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ <i>Мошев А.А., Родько И.И., Мартыненко С.П., Мартыненко С.С., Аблеев А.Н., Токарев А.Н.</i>	330
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ И СТЕПЕНИ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ПО ИНФОРМАТИВНЫМ ДИАПАЗОНАМ РАСХОЖДЕНИЙ ИХ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ <i>Мошев А.А., Родько И.И., Кудрявцев Е.М., Жуковский Ю.О., Кормашова Д.И., Кислицын А.О.</i>	331
ПАССИВНЫЙ ЭКЗОСКЕЛЕТ ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ <i>Мошев А.А., Качина А.А., Муллин В.М., Панчихин М.О., Хажкасимов Э.Н., Бирюков А.П.</i>	334

Содержание/Content

РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ВРЕЗКИ ПАТРУБКА ТРУБОПРОВОДА РАСХОЛАЖИВАНИЯ В ГЛАВНЫЙ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ ТРУБОПРОВОД РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВВЭР-1000	
<u>Овсенёв А.Е.</u>	336
ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ МАТРИЦ ДЯТ МЕТОДОМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА	
<u>Пермикин А.А., Костюченко К.С.</u>	337
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ЯЭУ АКУСТИЧЕСКИМ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ	
<u>Родько И.И., Кудрявцев Е.М., Аблеев А.Н., Бирюков А.П., Мошев А.А., Юдин И.А., Герасимов Д.Ю.</u>	338
РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS CFX	
<u>Руденко М.О., Шелегов А.С.</u>	340
ФОРМИРОВАНИЕ ЯДРА СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ	
<u>Смирнов С.В., Рзаев Р.А., Чуларис А.А.</u>	342
СПЕКТРОМЕТРИЯ 14 МэВ НЕЙТРОНОВ ДЕТЕКТОРАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО (CVD) АЛМАЗА	
<u>Урупа И.В., Тюрин Е.М., Ибрагимов Р.Ф.</u>	344
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<u>Фретова К.С., Козик Е.С.</u>	346
МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПОВОРОТНОЙ ПРЕЦИЗИОННЫЙ СТОЛИК С РУЧНЫМ ТИПОМ УПРАВЛЕНИЯ	
<u>Хафизов А.В., Бирюков А.П., Юдин И.А., Токарев А.Н., Конашенкова Н.А., Очеретько В.Е.</u>	349
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ В ПЛАСТАХ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА	
<u>Хисамов А.А., Хабибуллин И.Л.</u>	351
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СЕРИЙНО ПРОИЗВОДИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ	
<u>Юдин И.А., Барышев Г.К., Берестов А.В., Божко Ю.В., Жуковский Ю.О., Черных П.О.</u>	353

Ядерная физика и технологии,
теоретическая физика и
астрофизика

Nuclear physics and
technologies, particle physics,
astrophysics and cosmophysics

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

**MATHEMATICAL MODELLING OF FUEL ROD REGIME
DURING PARTIAL UNCOVERED INDUSTRIAL POWERED
RESEARCH REACTOR CORE**

Akinola O.N.

The conductive and convective movement of the heat is consider in terms of the margin in the uniform thermal flux density along the horizontal axis from fuel element center line down to the cladding, and to control the surface temperature of partially uncovered fuel cladding not to exceed the temperature limit. Modelling and Simulation of the temperature and heat flux density along the fuel element matrix through the gap to the cladding is implemented to ensure that the temperature limits of the fuel element matrix is not exceeded.

ANALYSIS OF REACTIVITY FEEDBACKS IN A SODIUM FAST REACTOR USING SERPENT CONTINUOUS-ENERGY MONTE CARLO PARTICLE TRANSPORT CODE

Akpuluma A.D., Smirnov A.D., Tikhomirov G.V.

*National Nuclear Research University MEPhI,
Institute of Nuclear Physics and Engineering, Moscow, Russia
e-mail: akpoebi@gmail.com*

Sodium-cooled fast reactors (SFR) are among the generation IV reactors proposed by the Generation IV International Forum (GIF) to meet the 2030 to 2040 target for commercial deployment of safer and more economic designs of nuclear energy systems. However, unlike other proposed designs there is already considerable experience in the viability of this reactor. For decades, Russia and a few other countries have developed, tested, studied and demonstrated the feasibility of the SFR design [1-3].

This work aims to use Serpent Monte Carlo code [4] to study the power feedback effects of the assembly of a sodium fast reactor and to compare it with known benchmarks. This procedure will be carried out by observing the changes in the multiplication factor when the reactor power (fuel and coolant temperature) is increased. This is a common method used in assessing the safety of nuclear power systems. From published papers, it is expected that there will be positive reactivity feedback effects, when sodium coolant is removed from the core. This result was verified using OECD/NEA benchmark for the SFR core [5].

References

1. Generation IV International Forum website: <http://www.gen-4.org/>
2. R.C. Lopez-Solis et al. Ann. Nucl. Energy. 98, 26–35. (2016).
3. K. Sun. Analysis of Advanced Sodium-cooled Fast Reactor Core Designs with Improved Safety Characteristics. Doctoral thesis No. 5480. (2012).
4. J. Leppänen et al. Ann. Nucl. Energy. 82, 142-150. (2015).
5. OECD NEA. Benchmark for Neutronic Analysis of SFR Cores. NEA/NSC/R(2015)9. (2016).

MODELING OF THERMAL-HYDRAULIC PROCESSES IN THE REACTOR CORE OF BREST-1200

AL-Hjouj D.M., Merinov I.G.

*National Research Nuclear University MEPhI. Moscow
+79629589750 ,93doha@gmail.com*

In this work Modeling of thermal-hydraulic processes in the reactor core of BREST-1200 is carried out with the help of program APMoD module.

The purpose of this work is to study the behavior of the reactor core cooled by lead as a metallic coolant in different working regimes as well in cases of accidental events with partial blockage of the flow section.

Blockages are considered as potentially dangerous sources of emergency situations in nuclear reactors, and the study of hydrodynamics and heat transfer in the Fuel Assemblies with a blocked part of the passage section is given great attention lately.

Anisotropic porous media approach is used in this work [5] which allows to solve an objective with rather low expenses of the computer resources and significantly reducing the number of elements the media was split for compared to the solution not averaged over the space of equations of hydrodynamics.

The simulation results are compared with the calculations of the thermal processes which were done earlier to conduct such a comparison.

Calculations of thermal processes and properties for the reactor core of BREST-1200 included; calculation of the reactor thermal efficiency with turbine type K-800-24[1][2][3], calculation of reactor thermal power ,Calculation of heat flow and heat parameters by the height of the active zone[4][5], Calculation of heat transfer coefficients and Temperature distribution in the Active zone, and Calculation of hydraulic resistance of the core[4].

References:

1. Разработка схем, оборудования и режимов работы второго контура перспективной АЭС / А.И. Филин, В.С. Цикунов, С.В.

Попов, Ю.В. Нестеров и др. // Теплоэнергетика. 2001. № 6. С. 27 – 31.

2. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат.1989. – 608 с.

3. Термический КПД паротурбинных установок / Н.П. Киселев, И.С. Радовский // М.: МИФИ. 1992.

4. Дементьев Б.А. Ядерные энергетические реакторы: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат.1990. – 252 с.

5. Отчет НИЯУ МИФИ по НИОКР "Разработка и верификация программного модуля для расчета теплогидравлических процессов в активной зоне и теплообменниках РУ БРЕСТ и БН в приближении пористого тела в составе кода HYDRA-IBRAE/LM/V2", 2014.

INSTANTANEOUS EMERGENCY SITUATIONS IN VVER-1000 AND THEIR CONSEQUENCES

Amer D. A.^{1,2}, Nikonov S. P.²

¹*Alexandria University, Egypt*

¹*"MEPhI", Moscow, Russia*

+7 (916)-0715527, *Dina.amer@alexu.edu.eg*

This paper is concerned with instantaneous emergency situations in VVER-1000 and their consequences emergency situations on the equipment of the cooling circuit for reactor VVER-1000. Two situations are discussed: an instant rupture in the pipelines of the first circuit and instantaneous stop of the main circulating pump. The considered emergency situations are included in the list of different types of reports necessary for VVER safety justification [1]. As a model for investigation we chose the 3rd unit of Kalinin NPP (VVER-1000, model 320). All thermohydraulic and physics data for this are taken from the international stander problem Kalinin-3 [2-3]. For the calculations, the computational best estimate code ATHLET [4] was used, which is included in the software package AC² and officially obtained by the national research Nuclear University MEPhI according to the license agreement with Gesellschaft fur Anlagen-und Reaktorsicherheit (GRS) gg GmbH, Germany [5]. Code ATHLET is certified in Russia for stationary and transient conditions at reactors with water coolant [6].

Figure 1 shows the nodelization of the first loop of the primary circuit which is the same for 2nd and 3rd, also the locations which considered in case of LOCA. Figure 2 shows the nodelization for the fourth loop which connected with the reactor pressurizer. We consider in detail the initial period of the accidents, because only at this stage a strongest amplitude and frequency of pressure fluctuations on NPP elements were observed, which can lead to significant dynamic loads on the structural elements of these objects. This can be estimated either by: Joint strength and hydrodynamic calculations, or It is possible to use the results obtained in this work as boundary conditions for the calculation of dynamic loads.

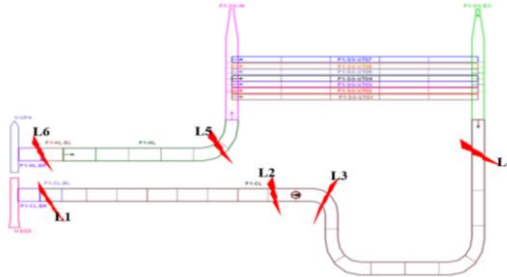


Figure 1: First loop of the primary circuit and considered locations for study
This study was done on steps as following:

1. Studying the situation of instant stop of the MCP in the first loop of the primary coolant circuit.
2. Considering LOCA (DEB) in the first loop of the primary coolant circuit near to the core entrance (Location. "L")
3. Comparing the two emergency situations from the point of view of the consequence pressure waves in the main components of the reactor.
4. Analysis of uncertainty in the concept of "instantaneous" in the calculation of emergency modes. 5 different gaps of time were considered for both emergency cases.
5. LOCA in different locations in the first loop of the primary circuit. 6 locations for LOCA were considered in this step.
6. The most dangerous places of LBLOCA in the four loops of primary coolant circuit as a source of dynamic load on the equipment. The 6 locations in step 5 were considered in each loop.

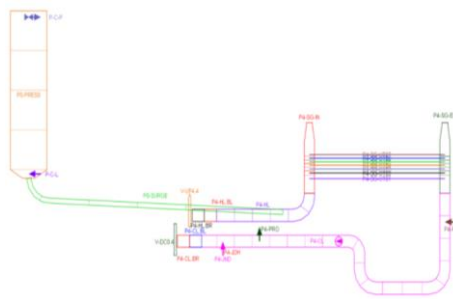


Figure 2: the 4th loop of the primary circuit.

List of References

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

1. ПНАЭ Г-1-036-95 (НП-006-98). Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности АС с реактором типа ВВЭР (с Изменением № 1 от 20.12.2005 г.).

2. V.A. Tereshonok, V.S. Stepanov, V.V. Ivchenkov, V.A. Pitilimov, S.P.Nikonov, Description of a Transient Caused by the Switching-off of One of the Four Operating MCP at Nominal Reactor Power at NPP Kalinin Unit 3, NEA/OECD, July, 2008.

3. V. A. Tereshonok, S.P. Nikonov, M. P. Lizorkin, K. Velkov, A. Pautz, K. Ivanov, International Benchmark for Coupled Codes and Uncertainty Analysis in Modelling: Switching-off of one of the four operating main circulation pumps at nominal power at NPP Kalinin unit, 18th Symposium of AER on VVER Reactor Physics and Reactor Safety, Hungary, Eger, Oct. 6-10,2008.

4. H. Austregesilo, H. Deitenbeck, A. Langenfeld, J. Scheuer, P. Schöffel, ATHLET 3.1A, Programmer's Manual, March 2017

5. Computer Code AC², Code Certificate N0 17-01, Software Licence Agreement N0.L/M-03, 11 sep., 2017

6. Ростехнадзор, ФБУ «НТЦ ЯРБ», Аттестационный Паспорт Программного Средства, №350 от 17.04.2014

USING SERPENT2 BUILT-IN CAPABILITIES FOR SIMULATION OF THE ONLINE REPROCESSING AND REFUELING IN THORIUM-FUELED MOLTEN SALT REACTOR

Ashraf O.^{1,2}, Smirnov A.D.¹, Tikhomirov G.V.¹

¹ *Laboratory of Engineering Computer Modeling in Nuclear Technologies, Institute of Nuclear Physics and Engineering, National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia, 115409*

² *Physics Department, Faculty of Education, Ain Shams University, Cairo, Egypt, 11341*

Email: osama.ashraf@edu.asu.edu.eg

Mobile: +7 (916) 221-03-73

SD-TMSR 2,250 MW_{th} [1] is a Single-fluid Double-zone Thorium-based Molten Salt Reactor. The active core of this reactor is divided into the inner zone (486 fuel tubes) and the outer zone (522 fuel tubes) in order to enhance the breeding performance. The lack of computational codes which deal with MSR cores stands against developing such a concept.

In this paper, SERPENT2 Monte Carlo code has been adopted to simulate the full-core of the SD-TMSR. In addition, the online reprocessing and refueling using built-in SERPENT2 capabilities was simulated. The Fission Products (FPs) were extracted from the active core into a GASTANK outside the core. Likewise, Pa was extracted from the core into another tank which called Pa_tank. ²³³Pa decayed into ²³³U (T_{1/2}=27 day), part of ²³³U was used to feed the reactor and the rest is the net production of ²³³U.

During the burnup time (10 years), the total mass of the fuel inside the reactor was checked and found to be constant. Besides, the reactivity was controlled by adjusting the feed rate of fissile materials [2, 3]. Thus, the full and clear reprocessing scheme was illustrated in this paper. Furthermore, the variation of the multiplication factor, breeding ratio, thorium, and ²³³U refill rates and build-up of the important nuclides in the core as a function of burnup time have been investigated. Additionally, the molten salt Temperature Coefficient of Reactivity (TCR) found to be negative and equal to -3.13 pcm/K.

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

In conclusion, the whole core of SD-TMSR has been modeled and the net production of ^{233}U is found to be positive.

All calculations presented in this work were implemented by SERPENT2 version 2.1.30. This paper follows [4] [5] method and applies to SD-TMSR 2,250 MWth. The drift of the delayed neutron precursor is not examined in this paper.

References

[1] Li GC, et al. Optimization of Th-U fuel breeding based on a single-fluid double-zone thorium molten salt reactor. *Progress in Nuclear Energy*. 2018;108:144-151.

[2] Benjamin R, Betzler, Jeffrey J, Powers, Andrew Worrall. Molten salt reactor neutronics and fuel cycle modeling and simulation with SCALE. *Annals of Nuclear Energy*. 2017;101:489-503.

[3] Haubenreich PN, Engel JR. Experience with the molten salt reactor experiment. *Nuclear Applications and Technology*. 1970;8:118-136.

[4] M. Aufiero, A. Cammi, C. Fiorina, J. Leppänen, L. Luzzi, and M. E. Ricotti, “An extended version of the SERPENT-2 code to investigate fuel burn-up and core material evolution of the Molten Salt Fast Reactor,” *J. Nucl. Mater.*, vol. 441, no. 1–3, pp. 473–486, 2013.

[5] V. Valtavirta, T. Ikonen, T. Viitanen, J. Leppänen. “Simulating fast transients with fuel behavior feedback using the Serpent 2 Monte Carlo code,” *Proceedings of the international conference on physics of reactors (PHYSOR2014)* 2014.

**FEASIBILITY USING THE PROJECT
«CRACKS UNDER CONTROL» IN NPP EQUIPMENT SAFETY**

Ayman Ahed Abu Ghazal, Surin V.I.

*Russia, Moscow, National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)
E-mail: Gazal.ayman@yandex.ru*

The “cracks under control” project was recently released by the laboratory ElphysLAB in National Research Nuclear University MEPhI, Moscow. It is a future proposal to reduce the accident rate situation which may arise during use of the equipment of NPP, due to the action of the loads and the occurrence of various types of cracks in the most sensitive parts of nuclear power plants equipment. The essence of the current project is based on a new non-destructive testing method which called scanning contact potentiometry (SCP).

In the current report, the prospects and advantages of using the «crack under control» projects have been discussed as an integrated system for improving the safety of various types of equipped nuclear power plants. Furthermore, the results obtained by the proposed study confirm that the application of the «crack under control» project is considered as a part and parcel of the safety of modern nuclear power plants.

By using the SCP method, it is possible to obtain advanced information on the state of nuclear facilities in the absence of access from personnel where there are large radiation doses during operation. The development of integral system based on the «cracks under control» project will be as a warning bell, which reports about the status of nuclear power plant equipment during operation with minimal costs.

References

[1] Surin V. I., New potential for potentiometry, Nuclear Engineering International journal, <http://www.neimagazine.com/features/featurenew-otential-for-potentiometry-6146360/>, 2018.

[2] Abu Ghazal A.A., Dzhumaev P. S., Osintsev A. V., Polski V. I., Surin V.I. Physio-mechanical materials testing using scanning contact potentiometry method// KnE Materials Science, 15th International School-

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

Conference "New materials – Materials of innovative energy.– publishing@knowledgee.com , Dubai, UAE, 2017.

[3] Electro-physical non-destructive testing of welded joints of steam generator PGV 1000, Resource center NRNU MEPhI at the site of AEM-Technology at the Atommash Volgodonsk/V. G. Beketov, A. E. Dembitsky, V. V. Kondakov, V. I. Surin, Z. S. Volkova, A. A. Abu Ghazal, A. I. Alwahabeh etc.// Report on R & d, national research nuclear University MEPhI, 2017, registration EGIS R & d, p.118.

TOLERANT FUEL INFLUENCE ANALYSIS TO VVER LATTICE MULTIPLYING PROPERTIES

Chukwudobe. L.O.

Mephi, Moscow

+79260025579, *leochukwudobe13@yahoo.com*

An investigation is carried out on the tolerant fuel influence analysis on the propagation properties of the VVER lattice. Comparing the analysis (physical calculations) between the VVER 1000 lattices with fuel and various Tolerant fuel Candidates (uranium oxide with steel cladding, carbon cladding, uranium oxide with chromium composition). The software package used for this analysis is an open source GETERA code which is designed to physically calculate the multiplication factor against burnup, calculate the multiplication factor for each fuel system, determine the area of the geometry of the fuel assemblies, and the radius of each cell, and the relationship between burnout and thickness for tolerant fuels proposed in this method at the first probability of collision. Tolerant fuel (ATF) is intended to reduce the harmful interaction between the zirconium alloy cladding and high-temperature steam that occurs in beyond design-basis emergency conditions. They are supposed to work within the framework of the design of existing and future light-water reactors, and for this reason they must meet or exceed the neutron and economic characteristics of conventional fuels. In this study, the neutron characteristics of tolerant fuel for use in VVER-1000 reactors were analyzed.

Reference:

1. I.M. Younker. “Neutronic and Economic Evaluation of Accident Tolerant fuel Concepts for Light Water Reactors”, A Thesis in Nuclear Engineering, 2015.
2. Science Daily: Nuclear Power Worldwide: Status and Outlook, International Atomic Agency
www.sciencedaily.com/releases/2007/10/071023103052.htm
3. B. G. González. “Material requirements for a thorium based nuclear fuel”, A Thesis in Nuclear Engineering, 2011.

POSSIBILITIES OF SPECTRAL REGULATION IN VVER-1000 WITH THE HELP OF WATER REPLACER

Elazaka A.I., Tikhomirov G.V.

*National Research Nuclear University of «MEPhI», Moscow
Tel.: +79104433638, e-mail: aielazaka@mephi.ru*

The excess reactivity of the fresh fuel at the beginning of burnup stage and flattening the power distribution to avoid an excessively high power peak in the fresh fuel assemblies are important issues in the VVER-1000. There are different methods such as the change of the coolant density and change the water-uranium ratio in the fuel assemblies to control the excess reactivity and power peak factors through what is known spectrum regulation. The spectrum regulation which represented by hardening the spectrum from the starting time of reactor run. One of the aims of spectral regulation also to attain the greatest accumulation of plutonium and softening the spectrum to the end of the run.

A lot of studies were performed to enhance the controlling process of the excess reactivity. In the light water reactor (LWR), burnable absorbers are usually used to control the excess reactivity and flattening the power distribution in the reactor core. the most interesting rare earth elements with high propensity for neutron absorption (gadolinium, erbium, dysprosium, hafanum and dysprosium) are studied and compared from the point of view of their possibilities for the control of core reactivity in PWRs to increase the cycle length [1]. It is reported that Erbium depletes relatively slower than gadolinium and boron. Therefore, erbium can be a rather effective BA for a reactor with a very long cycle [1]. The use of Gd_2O_3 in the form of micro-particles size increase the thermal conductivity of the Gd_2O_3 bearing fuel rods which provide the trend of designing future high burnup fuel. The use of 18 Gd_2O_3 -dispersed fuel rod with Gd_2O_3 particle diameter 300 μm (instead of 12 Gd_2O_3 -bearing fuel rod), similar reactivity curve can be obtained as conventional design and the power peaking factor at the beginning of burnup is decreased by about 5% [2].

In the present work, spectrum regulation has been investigated in the VVER-1000 reactor by using zirconium rods as a water replacer in the area between the fuel rods. A previous work of using zirconium rods as water replacer and placed in some of the guiding channels of the safety

and control system rods [3]. At the first stage of reactor operation, the zirconium displacers are inside the guiding channels; at the second stage, after the boric acid concentration reaches zero concentration, they are successively extracted from the core without cooling down the reactor, the stationary load operates in this regime for 298.1 eff. days as compared with 294 eff. days without regulation of the spectrum. the excess reactivity formed maintains the reactor in a critical state without adding boric acid to the coolant. The plutonium mass in the core with spectrum regulation is greater by 10 kg than the plutonium mass accumulated in the core without neutron spectrum regulation [3].

In the present study, the specifications of fuel cell of VVER-1000 are used [4]. The cell calculations are performed to study the fuel pitch variation in the k_{inf} . the optimum fuel pitch is determined where it is located in the under-moderated region for all cold zero power, hot zero power, and hot full power to assure the core safety. By using the optimum fuel pitch, the insertion of zirconium rods with different diameters is investigated and confirmed the reduction of k_{inf} by increasing the zirconium rod diameter as shown in table (1).

Table 1. The decrease of the infinite multiplication factor (k_{inf}) by increasing of inserted zirconium rod diameter

Zr rod thickness (cm)	0.0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.27
k_{inf}	1.412	1.396	1.361	1.305	1.201	1.135

References

1. A. A. Galahom, "Annals of Nuclear Energy Investigation of different burnable absorbers effects on the neutronic characteristics of PWR assembly," Ann. Nucl. Energy, vol. 94, pp. 22–31, 2016.
2. J. Fournier, "ScienceDirect ScienceDirect in assembly for controlling excess reactivity Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor Tran for Liem c forecast temperature function a long-term district heat demand," Energy Procedia, vol. 131, pp. 29–36, 2017.
3. A. V Chibinyaev, P. N. Alekseev, and P. S. Teplov, "ESTIMATION OF THE EFFECT OF NEUTRON SPECTRUM REGULATION ON VVER-1000 FUEL BURNUP," vol. 101, no. 3, pp. 231–233, 2006.
4. N. Science, A VVER-1000 LEU and MOX Assembly Computational Benchmark ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. 2002.

VVER 1000 FUEL BURNUP EFFICIENCY ANALYSIS A CASE STUDY OF DISCRETE LATTICE CHANGING DURING EXPLOITATION

Festus Ocheme

National Research Nuclear University, MEPHI

In this study, vver 1000 fuel burnup analysis during exploitation using the Getera code, from the burnup of low enriched uranium (LEU), three reloads was observed to give an average K infinitive of 1.03, this value is very important as the reactor functions at a criticality of 1.0, excess 0.3 represents a reserve for leakage, this value was obtained at a maximum burnup of 40(mWD/Hm).

Moderator size was adjusted using different factor in the Getera code and the best radius adjustment which yielded a maximum burnup of 40(mWD/Hm) was determined, the VVER 1000 library of Getera code was used for this analysis.

Three number of spectral variations was recorded, this corresponds to three number of fuel reloads which yielded maximal fuel utilization hence its efficiency. The procedure was repeated for MOX fuel.

Spectral lattice changes during exploitation is better than normal reloads as reactivity control due to reduction in boron acid injection for reactivity control, boric acid is an absorber of neutrons, and if more neutrons are absorbed, it reduces the action of available neutrons from initiating further fission reaction on uranium to create other fissionable product like plutonium.

This reduced use of boron during operation of nuclear reactor for maintenance or control of reactivity within the acceptable region implies the reduction in radioactive waste.

INTENSIFICATION OF MIXING IN BUNDLES OF RODS LONGITUDINALLY BY ARTIFICIAL ROUGHNESS

Ghadbane A^{1,2}, Maslov Y. A², Merinov I. G²

¹ COMENA, Algiers

² НИЯУ МИФИ, Москва

Ghadbane_ahmed12@yahoo.com, YAMaslov@mail.ru, IGMerinov@mephi.ru

Abstract

A new triangle tight lattice rod bundle with non-uniform wall roughness and remarkable coolant mixing enhancement is introduced. The arrangement of the roughness considered in the model is a square wave distribution. This type of lattice could enhance the heat transfer and fluid mixing effectively but accompanied by a significant increase loss of pressure. The patterns flow, vortex structure in lattice were investigated with steady Reynolds Averaged Navier–Stokes simulation. The maximum fluid mixing in lattice with non-uniform wall roughness is about ten times of that in traditional rod bundles. For the same hydraulics conditions $Re=450000$, the pressure drop could be increased by 35% compared to the traditional rod bundles in VVER-1000 reactor.

Keywords: Artificial roughness, Aerodynamic roughness length, turbulent boundary layers, Rough boundary, Sub-channel flow, vortex

REYNOLDS STRESS TURBULENCE MODEL APPLIED TO SINGLE-PHASE FLOW IN VVER FUEL ASSEMBLY WITH SECTORIAL MIXING GRID TYPE

Ghadbane A^{1,2}, Maslov Y. A², Merinov I. G²

¹ COMENA, Algiers

² НИЯУ МИФИ, Москва

Ghadbane_ahmed12@yahoo.com, YAMaslov@mail.ru, IGMerinov@mephi.ru

Abstract

Reynolds stress model (RSM) of turbulent flow in a VVER rod bundle was performed, and an innovative concept about the flow structure induced by sectors mixing grid between neighboring fuel-assemblies in the VVER-1000. The design of the sectorial-mixing-grid was proposed by OJSC OKB “GIDRO-PRESS” where the main flow of coolant during the pass through the lattice cells generate cross-flows toward the fuel rods, these secondary flows relative to main flow are used to enhance the mixing process in reactor core.). The computational domain containing a triangle of three parts of the adjacent fuel assemblies. For this purpose, Commercial code Fluent 19.0 was used to predict of a 3-D single-phase flow, friction coefficient, secondary flow, Orthogonal velocity profiles at gap between neighboring fuel assemblies. The results show this geometric configuration promotes the coolant mixing between the assemblies also in the core of the reactor.

Keywords: VVER core, fuel assembly, spacer and mixing grids, inter-cassette interaction, coolant hydrodynamics, CFD

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

CFD MODELING OF GAS AND AEROSOL EMISSIONS PLUME RISE OF STACK IN NUCLEAR POWER PLANT

Harahshah K. W.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

+79645256223, kamaljust93@gmail.com

The effective height of the stack is the actual height plus the rise of the plume centerline due to momentum and buoyancy of the effluent [1] . The main objective of our study is to predict the height of plume rise of stack in nuclear power plant by theoretical formulas and CFD modelling.

A c++ code was written contains three formulas with different parameters to calculate the plume rise. Then a Steady-state Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations of plume dispersion in the neutrally stable atmospheric boundary layer are made with the commercial code ANSYS Fluent 14.5.

Keywords: plume ; Dispersion ; stack ; CFD; modeling ; NPP

[1] ames E. Carson & Harry Moses (1969) The Validity of Several Plume Rise Formulas, Journal of the Air Pollution Control Association

CRITICALITY SAFETY PARAMETRIC ANALYSES OF SPENT FUEL STORAGE POOL FOR VVER-440

Kaprinayová K., Farkas G., Krištofová K., Hausner P.

Slovak university of technology, Faculty of electrical engineering and information technology

katarina.kaprinayova@gmail.com

According to the valid EMO12 Safety Report, chap. 4.3.4.5 [1], and the legislation [2], spent FAs are placed in a spent fuel storage pool (SNFSP). A distinctive feature of the current method of storing SNF in the SNFSP is the existence of four empty rows to reduce the k_{eff} . However, the capacity of the SNFSP is reduced by 71 empty positions.

This work deals with parametric analyses in Serpent2 using a conservative approach, which requires to know the values of parameters that adversely affect k_{eff} . The aim of parametric analyses is to determine these values, their impact on neutron balance and the multiplication properties of the system. These analyses are to be used for a proposal of an optimized storage loading scenario - filling some empty positions in the compact storage grid with up to 24 absorbers could increase the SNFSP operational storing capacity by up to 47 positions.

The following parametric analyses have been performed for one profiled fresh fuel assembly placed in the absorption tube cell with defined reflective boundary conditions:

1. Changing the pin pitch in the range of 12.18 mm to 12.42 mm with a 0.02 mm step.
2. Changing the coolant temperature from 4 °C to 50 °C with steps of 2°C and from 50°C to 100°C with steps of 5°C; assemblies with pin pitch 12.3 mm and 12.42 mm.
3. Changing the step of the absorber tubes in the range of 161.158 mm to 162.842 mm with a 0.2 mm step.
4. Changing the boron concentration in the ATABOR absorber steel from 0.5% to 1.2% by a step of 0.05wt%.
5. Changing the fuel density from 10.3 g/cm³ to 10.7 g/cm³ with a 0.1 g/cm³ step.

The parametric analyses have shown that the most unfavorable values, which are going to be used in the SNFSP optimization calculation:

Boron weight fraction in ATABOR: 1.05 wt%,

Pin pitch: 12.42 mm,

AT pitch: 161.158 mm,

TVEL and TVEG density [4]: 10.7 g/cm³.

Boron concentration in the coolant was 0 g/kg and its temperature was 4°C due to the highest density of water at this temperature. Average enrichment of the fuel pins was 4.65 wt% and 5.00 wt% and for the FA, it was 4.92 wt%. Average ²³⁵U enrichment in TVEG was 4.45 wt% and Gd₂O₃ concentration in TVEG [3] was 3.2 wt%. According to the conservative approach, the highest value of uranium enrichment and the lowest possible gadolinium content were taken into account.

References

[1] “Predprevádzková bezpečnostná správa PPBS pre EMO12, Gd palivo 4,87%, kapitola 4. Reaktor, Revízia 1, EMO12,.” SE a.s., (2011).

[2] “Decree of the ÚJD SR no. 30/2012 Coll. as amended by Decree no. 101/2016 Coll. «ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách pri nakladaní s jadrovými materiálmi, rádioaktívnymi odpadmi a vyhoretým jadrovým palivom,». (2016).

[3] <<https://www.nndc.bnl.gov/isotopes/docs/Gd.pdf>> (2018) .

[4] “PpBS pre AEMO revízia 1 – dodatok č. 3, 1. a 2. blok.” Федеральное агентство по атомной энергии, ФГУП ОКБ ГИДРОПРЕС, ФГУ РНЦ Курчатовский институт, У213- ТИ-1768, (2005).

INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF RICH GALAXY CLUSTERS FROM CfA2 REDSHIFT SURVEY

Khanh L.N.¹, Arkhangelskaja I.V.¹, Galper A.M.^{1,2}

¹National Research Nuclear University MEPhI, Moscow

²Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

Speaker's phone: +7 925 918 7144, e-mail: concord2020@gmail.com

Clusters of galaxies are the most massive systems in Metagalaxy and its distinction analysis allows concluding large-scale structure properties such as its formation and evolution – see, for example, [2, 4]. In addition, studying of galaxies clusters also relates to problems such as the dependence of the characteristics of galaxies on the surrounding medium properties. Moreover, clusters of galaxies provide an independent access to the distribution of dark matter [1, 2]. The presences of dark matter are proved by some natural evidences such as rotation curves, gravitational lensing, hot gas in clusters. Thus galaxies clusters members' motion dynamic investigation also should estimate possible dark matter presence due analysis of several catalogues – for instance, CfA2 data [3, 4] and zCOSMOS Spectroscopic Redshift Survey [5].

We have analyzed several features of galaxies groups # 933, 88, 142, 1046, 1101 from CfA2 sample, which contains data of 1971 groups of galaxies (totally 6787 members) at galactic latitudes $b \geq 20^\circ$ (in the north galactic cap) [2, 3]. Several characteristics of five galaxy clusters were analyzed such as anomaly difference of angular velocities at various distances– see fig. 1. Furthermore, preliminary results are allowed to concluding several peculiarities existence in distributions of characteristics for group #88, for example, the shape of its distribution on angular velocity and absolute magnitude – see fig. 2.

These features could be caused by dynamic of galaxies' motion in gravitationally bound group possibly connected to surrounding media inhomogeneities at large distances. Such spatial structures probably concerning with dark matter presence.

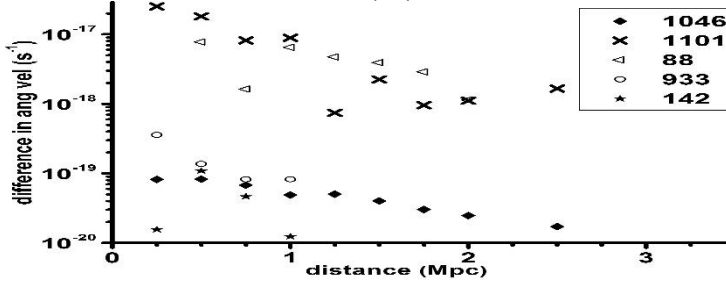


Fig.1. Difference between angular velocity at various distances of 5 groups

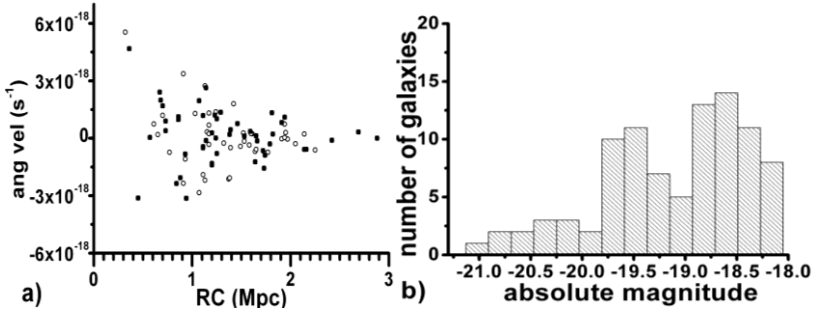


Fig.2. Characteristics of galaxies from group #88: a) distribution on angular velocities and b) distribution on absolute magnitude on distance to center of group

References

1. G.O. Abell. The distribution of rich clusters of galaxies. American Astronomical Society. P.211-288 (1958)
2. A.P. Mahtessian, V.G. Movsesian. List of groups of galaxies based on the CfA2 redshift survey. Astrophysics. Vol 53. Issue 1. P.70-81(2010)
3. <https://www.cfa.harvard.edu/~dfabricant/huchra/zcat>
4. A. P. Mahtessian, V.H. Movsessian and V.M. Mahtessian Astrophysics Vol 40. Issue 3. P.285 (1997)
5. Z.L. Wen, J.L. Han and F. Yang. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Vol 475. Issue 1. P.343 (2018)

INSTALLATION FOR STUDIES OF HYBRID THORIUM REACTOR WITH A SOURCE OF THERMO-NUCLEAR NEUTRONS BASED ON A MAGNETIC TRAP

**Lutsik I.O.², Arzhannikov A.V.¹, Shamanin I.V.², Bedenko S.V.²,
Shmakov V.M.³, Knyshev V.V.²**

¹ *Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS 11, Acad. Lavrent'ev Pr.,
Novosibirsk, 630090 Russia*

² *National Research Tomsk Polytechnic University 30, Lenin Pr.,
Tomsk, 634050 Russia*

³ *All-Russian Research Center VNIITF 13, Vasiliev street,
Snezhinsk, 456770 Russia
+7-923-428-8897, io.lutsik@gmail.com*

The paper presents the results of studies of nuclear-physical processes occurring in a high-temperature gas-cooled thorium reactor [1] for 30 different core-loading options. To ensure reliable and long-term operation of the reactor (at least 7 years), the proportion of the dispersed phase and the starting composition of the fuel were selected.

The principal possibility of replacing the near-axial region of the core of the investigated gas-cooled thorium reactor by a long magnetic trap with high-temperature plasma is shown for the case of D-D and D-T thermonuclear reactions in this plasma [2, 3]. The parameters of a long magnetic trap with a high-temperature plasma column that ensures the generation of additional neutrons due to thermonuclear reactions are described. The spatial-energy distribution of the output of the neutrons on the outer surface of a long magnetic trap is obtained and the possible input of (n, xn) reactions in the generation of additional neutrons is analyzed. The prospects of using the plasma D-T neutron source to modify the near-axial region of the reactor core are demonstrated. The reactor with an axial source of additional neutrons is designed to study the thermophysical and neutron-physical characteristics of the dispersive thorium-plutonium fuel in order to improve its properties.

From the standpoint of advancing in the field of fundamental knowledge, the goal of these studies is to expand and deepen the understanding of the possibilities that are opening up with the development of the technologies of thermonuclear energy of the future.

References

1. Shamanin I.V., Grachev V.M., Chertkov Y.B., Bedenko S.V., Mendoza O., Knyshev V.V. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel. *Annals of Nuclear Energy*. 2018, v. 113, pp. 286-293.
2. Arzhannikov A.V., Anikeev A.B., Beklemishev A.D., et al. Subcritical Assembly with Thermonuclear Neutron Source as Device for Studies of Neutron-physical Characteristics of Thorium Fuel. *AIP Conference Proceedings*. 2016, v. 1771, № 090004.
3. Arzhannikov A.V, Bedenko S.V., et.at. Fuel evolution in hybrid reactor based on thorium subcritical assembly with open trap as fusion neutron source (computer simulations) // 12TH international conference on open magnetic systems for plasma confinement (OS2018) Tsukuba, Japan, August 27-31, 2018 (<https://elibrary.ru/item.asp?id=36778932>).

STRIPPING OF 6,7LI NUCLEI IN NUCLEAR PHOTOGRAPHIC EMULSION

**Mekhimar M.^{1,2}, Ahamed Y.², El-Sharkawy S.², Hegab M.K.³,
Osman O.M.³**

¹*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics
Institute), Moscow, Russia*

²*Physics department, Faculty of Science , Sohag University, Sohag, Egypt*

³*Physics department, Faculty of Science ,Cairo University, Sohag, Egypt
E-mail: elkaseemy@gmail.com*

Abstract. Stripping process of 6Li at incident momentum 4.5 AGeV/c and 7Li at incident momentum 3 AGeV/c, provided by the JINR Synchrophastron, were studied using the photographic emulsion technique. The two stable isotopes of 6Li and 7Li were treated as two weakly-bound systems composed of (4He+d) and (4He+t) cluster configurations, respectively. Along the track double scanning method was carried out in order to search for 6,7Li interactions in emulsion(Em). For 6Li-Em and 7Li-Em about 1050 and 1015 inclusive events were recorded with mean free path 14.5 ± 0.5 cm and 15.1 ± 0.6 cm respectively. The measured angular distributions of the outgoing fragments were compared with that calculated theoretically and good agreement between the experimental and theoretical values is obtained. This agreement supported the presence of 6,7Li nuclei in a cluster mode at high energy reactions.

**A NEUTRONIC COMPARISON OF USING URANIUM,
PLUTONIUM WITH AND WITHOUT A THORIUM DOPED
FOR HIGH TEMPERATURE GAS COOLED REACTOR (HTGR)
FUEL KERNEL**

Mohamed H.M. Salem, Volkov Yu.N.

*National Research Nuclear University "MEPhI"
Kashirskoe shosse 31, Moscow, 115409, Russia
salemphi@gmail.com*

There is a huge interest in the high temperature gas cooled reactor (HTGR), in regard to its postulate of introducing nuclear power and heat for industrial and electrical generation use. Thus, include its passive and inertial safety designs. HTGR fuel kernel represent proliferation-less technology with a use of coated carbon and ceramics material, that provide less irradiative effects. The problem of introducing a long-live fuel cycle and validation of neutronics code to give a parallel matched analysis with the ongoing experimental data is investigated for the current design suggested for GT-MHR 600 MWth type reactor as a prismatic fuel. The fuel type used is a PuO_2 and UO_2 with ^{235}U up to 20 % w/o. Thorium (Th) still usefulness for neutronic economy but from the safety standpoint, the thorium fuel reversed the inherent safety characteristics of a negative temperature coefficient. Results are calculated dispel the need for a binary fuel particle system, which is proposed in the General Atomics GT-MHR concept. The GT-MHR binary system is composed of both a fissile and fertile particle. Furthermore, this study investigated some Th percentage in the initial Pu/Th fuel could Investigation would be done in help of the neutronic code of SCALE 6.2.1

DISCRIMINATING MOX FUEL FROM LEU FUEL FOR SAFEGUARDS PURPOSES USING SERPENT CODE

Nimer H.H., Demin V. M., Abu Sondos, M. A.

*Nuclear Research Nuclear University MEPHI. Moscow
+79778191460., jheba20@gmail.com*

Nuclear energy is currently one of the world's main sources of electricity. Closely connected to the use of nuclear energy are important issues such as the nonproliferation of fissile material that may potentially use in nuclear weapons (safeguards), and the management of the highly radioactive nuclear waste.

Safeguards are a set of technical measures applied by the IAEA on nuclear material and activities, through which the Agency seeks to independently verify that nuclear facilities are not misused and nuclear material not diverted from peaceful uses. States accept these measures through the conclusion of safeguards agreements, for the safeguards issue, it is important to experimentally verify the presence and identity of nuclear fuel assemblies and also that the fuel has experienced normal, civilian reactor operation.

Plutonium-rich mixed oxide fuel (MOX) is increasingly used in thermal reactors. However, spent MOX fuel could be a potential source of nuclear weapons material and a safeguards issue is therefore to determine whether a spent nuclear fuel assembly is of MOX type or of LEU (Low Enriched Uranium) type.

A technique has been demonstrated, utilizing the ratio of $^{134}\text{Cs}/^{154}\text{Eu}$, with which it is possible to determine whether a fuel assembly is of MOX or LEU type. This is of interest for safeguards as well as for the safe operation of a final storage facility. The suggested technique is based on using the ratio of $^{134}\text{Cs}/^{154}\text{Eu}$ because ^{154}Eu is produced more extensively in the case of MOX fuel irradiation while the production of ^{134}Cs is essentially the same or even less as compared with a LEU fuel.

The aim of this work is to Study the influence of enrichments of fuel (LEU) and the powers of reactor on the accumulation of ^{134}Cs and ^{154}Eu , which are used to determine the type of initial fuel in safeguard field. A number of simulations have been performed in This work using Serpent

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

computer code “A continuous -energy Monte Carlo reactor physics burnup calculation code” to measure the amount of ^{134}Cs and ^{154}Eu generated and accumulated during the “VVER-1200” reactor operation.

In this work, the ratio of Cs-134/Eu-154 was calculated for MOX fuel with 3% enrichment and for burnup 60 MW.day/KgU. Also, for LEU fuel was calculated the ratio of these isotopes in many variants of enrichments and powers of reactor, which presented in table 1.

Task 1 *with a constant power	Fuel Enrichment					
	2% LEU		3% LEU	4% LEU	5% LEU	3% MOX
Task 2 with a constant enrichment of 3% LEU	Reactor Power					
	3% enriched LEU					3% MOX
	1.96E+7	6.63E+6	5.63E+6	6.13E+6	6.03E+6	1.96E+7

Table.1.

References

1. Willman, C., Håkansson, A., Osifo, O., Bäcklin, A., & Svård, S. J. (2006). A nondestructive method for discriminating MOX fuel from LEU fuel for safeguards purposes. *Annals of Nuclear Energy*, 33(9), 766-773. doi:10.1016/j.anucene.2006.04.006
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safeguards and Verification, www.world-nuclear.org/.

**COMPUTATIONAL ANALYSIS OF THE KALININ-3
COOLANT TRANSIENT BENCHMARK: SWITCHING-OFF OF
ONE OF THE FOUR OPERATING MAIN CIRCULATION
PUMPS AT NOMINAL REACTOR POWER
USING SKETCH-N/SKAZKA CODE**

Ojinnaka C.A.S., Zimin V.G., Nikonov S.P.

*National Research Nuclear University (MEPhI), Moscow
+7 925 703-13-81, cojinnaka@yahoo.com*

The switching off of one of the four Main Circulation Pumps (MCP), gave rise to the Kalinin-3 Coolant Transient Benchmark [1].

The switching off of loop one MCP would obviously change the coolant flow rate in the NPP core which in turn would change the temperature and pressure of the NPP core. After MCP is switched off, the control rods of group number 10 went down to set the power of the reactor to 67%. The purpose of the benchmark is in four exercises, but this thesis looked at exercise two with the aim of validating the SKETCH-N/SKAZKA code.

SKETCH-N which is used for the calculation of neutron kinetics is coupled with the SKAZKA thermal-hydraulics code developed for VVER-type reactor core analysis. SKETCH-N/SKAZKA code is used for VVER-1000 steady-state, transient and burnup calculations [2]. The reactor core boundary conditions for the problem is provided by ATHLET/BIPR-VVER code [3].

The radial power distribution of each fuel assembly is compared with the experimental data for the steady state initial conditions. SKETCH-N/SKAZKA and the experimental or ICMS values are considered sufficiently close, the average difference is about 2%. The maximal difference is 7.2% and it is at the position 7-32, which is the position of the replaced fuel assembly.

Figure 1 illustrates the simulated reactor power evolution of SKETCH-N/SKAZKA during the transient compared to the ICMS measured values. Figure 2 shows the calculated and experimental values of the axial offset. The comparison with the other experimental data will

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics
 be given in the report. There is generally good agreement in all calculated data with experimental results.

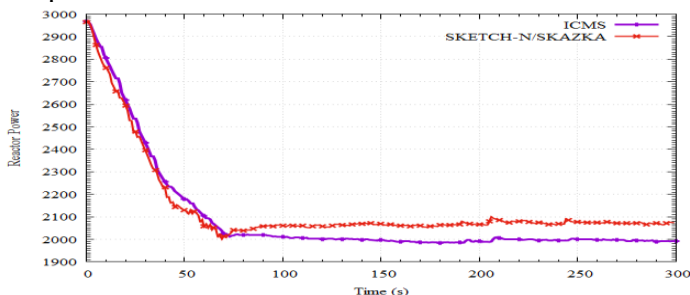


Fig 1: Calculated and experimental total reactor power vs time

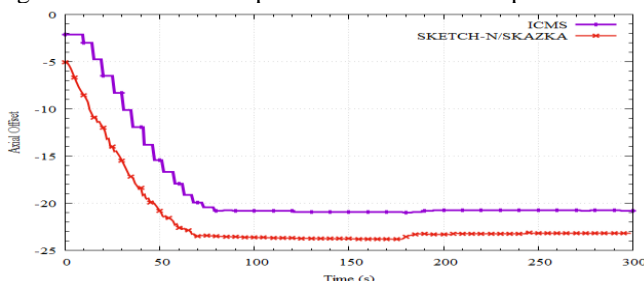


Fig 2: Calculated and experimental axial offset vs time

Reference

1. Tereshonok V, Stepanov V, Ivchenkov V, Pitilimov V, Nikonov S. Description of a transient caused by the switching-off of one of the four operating MCP at nominal reactor power at NPP Kalinin unit 3. NEA/NSC/DOC(2009)6 (2009)
2. Zimin V. SKETCH-N: A nodal neutron diffusion code for solving steady-state and kinetic problems, report available from OECD NEA Data Bank as NEA-1577/01 (2000)
3. Nikonov S. P., Velkov K., Pautz A. Detailed modeling of Kalinin-3 NPP VVER-1000 reactor pressure vessel by the coupled system code ATHLET/BIPR-VVER, International Conference on Mathematics and Computational Methods Applied to Nuclear Science and Engineering (M&C 2011), Rio de Janeiro, RJ, Brazil, May 8-12, 2011, on CD-ROM, Latin American Section (LAS)/American Nuclear Society (ANS). (2011)

DNA DAMAGE IN AQUEOUS SOLUTIONS AS A RESULT OF INDIRECT ACTION OF IONIZING RADIATION

Omar M. Kotb^{1, 2}, Sofia V. Paston¹

¹*Department of Molecular Biophysics and Polymer Physics, Faculty of Physics, Saint-Petersburg State University, Ulyanovskaya, 3, St.Petersburg 198504, Russia.*

²*Department of Physics, Faculty of Science, Zagazig University, Sharkia Gov Zagazig, 44519 Egypt, +7(900)652-15-82
om.kotb@yahoo.co.uk*

The biological effects of radiation result mainly from damage to the DNA – the most critical target within the cell [1]. Study of the physical chemistry origin of DNA lesions induced by ionizing radiation of different types and intensity in dependence of environmental conditions is actual for the development of radiation therapy and radiation safety. Primary stages of biological action of radiation can be explored in a model aqueous solutions of DNA with different concentration [2]. When radiation is absorbed in a cell or in a solution, the damage to DNA may occur directly or indirectly. In direct action the radiation energy absorbs namely by the macromolecule, in indirect action the radiation interacts with the solvent and produce free radicals and ions which can react with DNA and make structural damage [1,2]. The contribution of these two effects depends on linear energy transfer (LET) of radiation and condition of irradiated object, i.e. on the concentration of targets. In the present work we study the ratio of direct and indirect action varying the DNA concentration (C_{DNA}) in the irradiated solutions.

The main types of radiation-induced DNA lesions are destruction and release of nucleobases, single- and double-strand breaks and degradation of hydrogen bonds between two complementary DNA strands. It was found that structure and composition of the DNA secondary hydration layer are critical for the arising of radiation damage [3,4]. A combination of spectral methods was applied early to detect nucleobases destruction and local denaturation in DNA exposed to gamma-radiation [3]. In this work the spectrophotometric melting is used to evaluate a partial denaturation of the irradiated DNA and the Spirin method is applied for total nucleobases determination.

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

The DNA solutions were exposed to ^{60}Co gamma-irradiation under the aerobic conditions at the dose rate 2.0 Gy/s, dose 50 Gy. Spectral parameters of DNA irradiated with the equal dose at the different C_{DNA} (table 1) indicate that the total damage decrease with the rise of C_{DNA} , i.e. the concentration of targets. We can conclude that the indirect action is the main mechanism of DNA damage in the conditions of the experiment.

Table 1. Parameters of DNA irradiated at the different concentrations

$C_{\text{DNA}} \pm 0.1$, $\mu\text{g/ml}$	Residual $C_{\text{DNA}} \pm 0.1$, $\mu\text{g/ml}$	Melting temperature $T_m \pm 0.5$ ($^{\circ}\text{C}$)	Hypochromic effect $\delta(D^{97}) \pm 0.02$	Degree of renaturation $\Delta D_{25} \pm 0.02$
(Native) 35.9	35.9	60.7	0.26	0.15
17.9	14.5	-	0.10	0.05
35.9	33.1	45.7	0.13	0.08
71.8	69.2	55.2	0.18	0.13
143.6	136.6	57.1	0.20	0.15

References

1. IAEA. Radiation oncology physics: A Handbook for Teachers and students. P 488. (VIENA 2005).
2. Y.B. Kudryashov. Radiation biophysics (Ionizing radiation).(2008).
3. S.A.Tankovskaia, O.M.Kotb, O.A.Dommes, S.V. Paston. Application of spectral methods for studying DNA damage induced by gamma-radiation. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.Vol.200. P.85–92 (2018)
4. J.Wanek, F.J. Ruhli, Risk to fragmented DNA in dry, wet, and frozen states from computed tomography: a comparative theoretical study, Radiat. Environ. Biophys. Vol.55. P.229–241 (2016).

AP1000 CORE DESIGN DEVELOPMENT FOR HIGHER BURN-UP AND LONG OPERATIONAL CYCLE LENGTH

**Rowayda F. Mahmoud^a, Mohamed K. Shaat^a, Nagy M.E.^b,
Agamy S.A.^b**

^a *Reactors Department, Nuclear Research Center, Egyptian Atomic Energy Authority, Egypt.*

^b *Nuclear and Radiation Engineering Dept., Faculty of Eng. Alexandria University, Egypt*

corresponding e-mail: Rowayda_mahmoud@yahoo.com

High fuel burnup and long cycle length are the main objectives for economic and reliable operation of Advanced Nuclear Power Reactors. The use of high fuel burnup will result in fewer spent fuel bundles to handle, store, fewer production of actinides and high consumption of fissile isotopes.

Fuel cladding is a crucial safety barrier for defense in depth against release of fission products to the coolant boundary. The selection of appropriate fuel cladding material to stand for high burnup and long cycle length is based on nuclear properties, mechanical properties, corrosion resistance, operating temperature, thermal conductivity, peak cladding temperature, neutron fluence and chemical interaction with operating environment. A new cladding material called High Performance Alloy for Nuclear Applications (HANA) was nominated for high burn up in Advanced Nuclear Power Reactors.

In this paper AP1000 core was developed through the replacement of the fuel enrichment to higher values and replacing the ZIRLO cladding by HANA cladding, with the purpose of achieving higher burn up and longer cycle length.

The initial core and the developed core were modeled and simulated using Monte Carlo N-Particle Transport Codes, MCNP6 and MCNPX. The criticality control parameter, core cycle length and spent fuel radionuclides inventory were calculated.

The results showed that the developed reactor core can reach a cycle length up to 22 months at fuel burnup 75GWD/MTU safely using HANA-4 cladding, compared to the initial design core which can reach to 18 months cycle length at fuel discharge burn-up of 60 GWD/MTU.

GEANT4-BASED SIMULATION STUDY OF ENERGY RESOLUTION OF THE SPACAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER MODULE

Shmanin E.¹, Golutvin A.^{1,2}, Guz Yu.³, Shatalov P.⁴

¹ NUST MISiS, Moscow, Russia

² Imperial College London, London, United Kingdom

³ Institute for High Energy Physics, NRC ‘‘Kurchatov Institute’’-IHEP, Protvino, Russia

⁴ Institute for Theoretical and Experimental Physics, NRC ‘‘Kurchatov Institute’’-ITEP, Moscow, Russia

+79852774761, evshmanin@gmail.com

Radiation loads in all experiments at Large Hadron Collider will increase after High Luminosity upgrade. The expected absorbed dose at the central area of LHCb electromagnetic calorimeter (ECAL) is expected to be about 100 MRad. In this case ECAL in its current state cannot be used due to sensitivity to radiation damages of the active materials, especially scintillators based on polystyrene – thus there is need to develop new calorimeter module which can tolerate increased radiation doses.

Possible candidate to radiation tolerance material can be crystals of $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$ (GAGG:Ce). The samples of these crystals were irradiated up to 91 MRad at the proton beam in PS accelerator at CERN. The samples demonstrated high radiation hardness and can be considered for a potential replacement of plastic scintillator in LHCb ECAL [1].

In a view of high cost, application of the radiation hardness materials in large-scale detectors is problematic, also by reason of high occupancy, narrow electromagnetic shower in ECAL is needed. In this case other options of the detector construction should be considered.

The possible type of design technology of the electromagnetic calorimeter could be Spaghetti calorimeter (SPACAL) – the one-piece absorber with scintillation fibers running along the shower direction. This type of calorimeter technology allows to reduce the amount of the active material up to 30% in respect to the shashlik type.

Before creating the prototype, the Monte-Carlo simulation of SPACAL module for estimation of the energy resolution has to be

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

performed. Previous simulation studies were performed by H1 collaboration and demonstrate the possibility of reaching the value of energy resolution below 10% [2].

Simulation study has been performed using a GEANT4 toolkit. First of all different configurations of SPACAL module with various distance between fibers and size of fibers were simulated. The main purpose of this simulation was estimation of energy resolution of the SPACAL modules with different sampling-fraction. Secondary task was to calculate the Moliere radius of studied configuration.

SPACAL configuration chosen for beam-test was simulated for estimation of dependence of the energy resolution by the primary particle angle as well as the electromagnetic shower width for different absorber materials. In addition, different prototype constructions were simulated and compared.

References

1. Yu. Guz et al. Irradiation studies of a multi-doped $\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ scintillator. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research. A 916. P.226–229 (2019).
2. M. Weber. The new Spaghetti Calorimeter of the H1 Experiment. representing the H1 collaboration (1995).

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

THE REDUNDANCY SYSTEM OF THE LOWER LEVEL IN THE AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM (ASUTP APCS) - HARDWARE AND SOFTWARE

Usman Yusuf

Russia, Moscow, MEPhI

E-mail: oth_yus@yahoo.com

The harnessing of nuclear energy for human benefits cannot be said to be positively achieved except it is done in such a way that is safe to the people lives, the other living beings, the environment and the entire ecosystem. The operation must also be secured. Process system that makes the harnessing possible is also very important. Reliability of a nuclear plant (components and systems) is to make the above targets attainable smoothly. To ensure achievement of all these in operation and safety of Nuclear Power Plants (NPPs), the role and reliability of Instrumentation and Control systems is not less than the most cardinal.[1]

The paper focuses on the study of improving the reliability of the hardware of the lower-level automated process control system. The backup tasks will be performed using the company's equipment (UMIKON). The work consists of four main stages. At the first stage, the issues of improving the reliability and methods of reserving the elements of Software and hardware complex are considered. At the second stage the problem statement is carried out. The third stage is to create a redundancy system of the lower level of the automated process control system (APCS of NPPs). At the latter, the developed and implemented redundancy scheme is tested, as well as a qualitative assessment of the reserve switching in the automated process control system (APCS of NPPs). A set of automatic control systems of UMIKON is used with three sets/types of data inputs and outputs (signal generating system, sensors).

At the end of the study, a way of improving the reliability of the automated process control system (lower level hardware) in the nuclear power plant would be discovered. This will be very relevant and applicable in improving reliability of nuclear power plant safety system.

Reference:

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016).

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ В ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ ТИПА ВВЭР НА ГЛУБИНУ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА И СКОРОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ АКТИНИДОВ

Абукдаира Т.М., Стогов Ю.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия
+79645190897, thabitne@gmail.com*

Повышение выгорания топлива и утилизация плутония в ядерных реакторах представляют собой важные задачи для развития атомной энергетики. Одним из способов, позволяющих достичь этих целей, является выбор соответствующего спектра нейтронов в активной зоне реактора [1].

Одним из основных факторов, влияющих на спектр нейтронов в активной зоне реакторах с водой под давлением и, следовательно, на все нейтронно-физические характеристики, является отношение водорода к тяжелым металлам (H/HM) [2]. (H/HM) в легководном реакторе можно рассчитать по формуле:

$$\frac{H}{HM} = \frac{2M_{UO_2}}{M_{H_2O}} \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{UO_2}} \frac{V_M}{V_F} \quad (1)$$

Из уравнения видно, что изменение спектра нейтронов может быть достигнуто путем изменения плотности замедлителя или изменения водо-уранового отношения.

Для данного исследования была выбрана LEU сборка реактора ВВЭР-1000. Все характеристики сборки и число плотностей нуклидов в ячейках сообщаются в отчете [3].

Были исследованы начальная реактивность, выгорание топлива и скорость накопления актинидов при изменении шага решётки. Были исследованы решетки с пониженным и повышенным шагом.

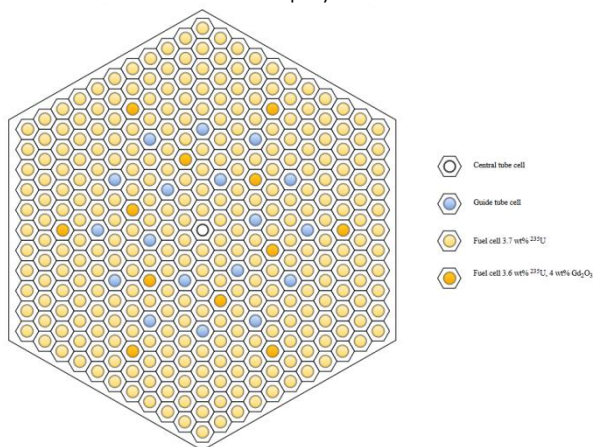


Рисунок 1. LEU сборка.

Выгорание топлива и все расчеты были выполнены методом Монте-Карло с использованием программы MCU-FREE. Для сравнения результатов была использована программа GETERA, которая основана на методе вероятности первого столкновения. Топливо выгорело при удельной мощности 108 МВтс/м^3 .

Литература

- [1] K. D. Weaver and J. S. Herring, “The effect of the hydrogen to heavy metal ratio (H/HM) on reactivity and discharge isotopics of homogeneous Thoria-Urania fuel,” in *10th International Conference On Nuclear Engineering*, 2002, pp. 1–7.
- [2] Z. Xu, M. J. Driscoll, and M. S. Kazimi, “Neutron Spectrum Effects on Burnup, Reactivity, and Isotopics in $\text{UO}_2/\text{H}_2\text{O}$ Lattices,” *Nucl. Sci. Eng.*, vol. 141, no. 3, pp. 175–189, 2017.
- [3] OECD NEA, “A VVER-1000 LEU and MOX Assembly Computational Benchmark,” 2002.

РАСЧЕТ РИСКОВ ПРИ ОБРАЩЕНИИ РАО НА ЯТЦ

Алабд Лааль А. Р., Зубарев В.Н.

*Институт ядерной физики и технологий, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
e-mail: ashrafalabdulaal.aa@gmail.com*

Это исследование требовало сложной работы, которая состояла из различных этапов, таких как: настройка, проверка и применение процедур, кодов и библиотек. В статье отражен этап валидации данного исследования. Его целью было сравнить измеренные запасы отдельных актинидов и продуктов деления радионуклиды в элементе из радиоактивных отходов с запасами предсказано с использованием последней версии SCALE, созданной последовательностью SAS.

Таблица 1: Источники образования, количество и места хранения радиоактивных отходов

Источник	Объем (м3)	Активность	Вид
		бк	
Добыча и переработка руд	10E8	6.7*10E15	Шламы и отвалы пород
Обогащение урана, производство ТВЭЛов	1.6*10E6	1.5*10E14	Жидкие и твердые
Атомные электростанции	1.5*10E5	1.5*10E15	Концентрированные
	1.2*10E5	3.7*10E13	твердые
	1.6*10E4	3.7*10E13	отвержденные
переработка твэлов	10E3	4.4*10E13	твердые
Радиохимические предприятия	5*10E8		Жидкие и твердые

Таким образом, процедуры, коды и библиотеки для характеристики радиоактивных материалов с точки зрения

радиоактивных кадастров, очистки и биологических факторов опасности квалифицируются и проверяются в поддержку безопасного обращения с радиоактивными отходами. Вычислительные инструменты были включены в систему SCALE для того чтобы позволять защищая анализу быть выполненным используя методы Монте-Карло. Одномерные дискретные анализы ординат выполняются с помощью модуля XSDRNPM-S, а точечные дозы вне экрана рассчитываются с помощью модуля XSDOSE. Многомерный анализ выполняется с помощью модуля MORSE-SGC/S Монте-Карло.

Литратура:

1. Андреева О.С., Бадьин В.И., Корнилов А.Н. Природный и обогащенный уран: Радиационно-гигиенические аспекты. - М.: Атомиздат, 1979.
2. Мосинец В.Н. Обеспечение радиационной безопасности при ликвидации, консервации и перепрофилировании уранодобывающих предприятий//Атомная энергия. - 1991.- Т.70, вып.5
3. Корнилова А.Н. Гигиенические аспекты удаления и хранения радиоактивных отходов предприятий добычи и переработки урановой руды// Вопросы гигиены на урановых рудниках и обогащительных предприятиях. - М: Атомиздат, 1971.
4. Под общей редакцией Е.А. Крамер-Агеев. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ. М.: МИФИ, 2011.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ВОЛН МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ИЗ СТАЛИ МЕТОДОМ КОНТАКТНОЙ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ

***Алвахеба А.И.¹, Бекетов В. Г.², Иванов О.В.³, Иванова Т.Е.³,
Сурин В.И.¹***

¹ НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия

² ВИТИ НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск, Россия

³ ООО «Техноскан», г. Волгодонск, Россия

89853341423, elphyslab@yandex.ru

Главная проблема, стоящая перед разработчиками приборов электрофизического неразрушающего контроля сварных соединений сегодня, связана с определением размеров и глубины залегания структурных неоднородностей.

Одним из возможных решений данной проблемы является анализ амплитудно-временных потенциограмм, снятых на одном и том же сварном соединении в разные временные интервалы.

В специально приготовленный образец со сварным соединением (сталь 20 толщиной 14 мм) были искусственно введены структурные неоднородности: несплавление корня шва, непровар корня шва, несплавление по разделке шва, скопление пор, отдельные крупные поры и другие структурные нарушения. Неразрушающий контроль сварного соединения выполнялся методом сканирующей контактной потенциометрии (СКП) [1]. Данный метод отличается высокой чувствительностью и эффективностью обнаружения дефектов в сварных соединениях. В экспериментах применяли преобразователи, изготовленные из платины, молибдена и алюминия. Для фиксации структурных нарушений использовали мобильную информационно-измерительную систему, размещенную на ноутбуке Asus X554L, производства лаборатории *ElphysLAB* НИЯУ МИФИ [2]. Система оснащена программируемыми фильтрами ПАД для выделения сигналов малой амплитуды на фоне помех и шумов.

Проводили эксперименты, в которых скорость движения датчика имела значения 1,8; 1,1 и 0,36 мм/сек. Образец нагружался постоянным током с силой тока от 0,01 до 0,6 А. Исследовалось также влияние магнитного и температурного поля на величину диагностического сигнала. Температура нагрева сварного соединения достигала 60°C.

В докладе приводятся экспериментальные результаты для образцов из сталей СтЗсп, 09Г2С и 12Х18Н10Т.

Литература

1. Surin V. New potential for potentiometry// Nuclear Engineering International, 2018, 63(765), pp.30-32.
<http://www.neimagazine.com/features/featurenew-potential-for-potentiometry-6146360/>
2. Сурин В.И., Абу Газал А.А., Алвахеба А.И., Шеф Е.А., Бокучава Г.Д., Папушкин И.В. Расчетно-экспериментальный метод моделирования остаточных напряжений в сварных соединениях// Информационные технологии в проектировании и производстве. М.: ФГУП, 2018 г – №2.с.48-55.

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АДРОННЫХ КАСКАДОВ В КАЛОРИМЕТРЕ СПЕКТРОМЕТРА PAMELA, ПОЛУЧЕННЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ И МОДЕЛИРОВАНИИ GEANT4

Алексеев В.В.¹, Майоров А.Г.² от имени коллаборации PAMELA

*¹ Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,
Ярославль*

*² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

8-980-662-35-92, vladislav.alexeev.yar@gmail.com

В состав магнитного спектрометра PAMELA [1], проводившего измерения потоков космических лучей на околоземной орбите в 2006 - 2016 гг., входит набор детекторных систем для надёжного определения типа и энергии регистрируемых частиц. В том числе, в состав прибора входит стриповый позиционно-чувствительный электромагнитный калориметр (толщина 16.3 радиационных длин и 0.6 ядерной длины). Калориметр состоит из 44 односторонних кремниевых регистрирующих плоскостей, чередующихся с 22 пластинами вольфрамового поглотителя (толщина каждого вольфрамового слоя 0.26 см). Регистрирующие плоскости состоят из матрицы кремниевых детекторов 3×3, каждая из которых сегментирована на 32 полосы (стрипа) шириной 2.4 мм. Ориентация полос двух последовательных слоев является ортогональной и, следовательно, обеспечивает двумерную пространственную информацию о взаимодействии частиц в калориметре. Из-за высокой степени детализации, развитие электромагнитных и адронных каскадов можно изучать с хорошей точностью.

В работе проводилось моделирование Монте-Карло на основе Geant4[2] прохождения протонов через спектрометр PAMELA с использованием различных доступных в этом инструментарии адронных моделей. Необходимый программный код разработан в коллаборации PAMELA и содержит детальное описание прибора, включая детекторные системы и элементы конструкции. Это позволяет провести сравнение результатов моделирования с

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

экспериментальными данными, полученными на околоземной орбите, в частности, сравнить реальные и модельные характеристики адронных каскадов, например, его радиусы, продольный и поперечный профили, энерговыделения др.

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. <http://geant4.web.cern.ch/geant4/>

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА СО СЛОЖНОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СТРУКТУРОЙ

***Алексеев Н.В., Беденко С.В., Кнышев В.В.,
Луцик И.О., Каренгин А.Г., Шаманин И.В.***

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск
89131176282, nva11@tpu.ru*

Эксплуатируемое сегодня в энергетических реакторах оксидное керамическое ядерное топливо обладает рядом недостатков, одним из потенциальных кандидатов топлива нового поколения является дисперсионное ядерное топливо, применяемое в реакторах нового поколения [1]. Преимуществом дисперсионного топлива, в сравнении с традиционным оксидным топливом, является высокая теплопроводность, радиационная и термическая стойкость, повышенный ресурс эксплуатации и более глубокое выгорание делящегося изотопа. Самым распространенным видом дисперсионного ядерного топлива является микрокапсулированное топливо диспергированное в плотно-спеченную графитовую матрицу (С) или в матрицу, состоящую из карбида кремния (SiC).

Общими недостатком технологий изготовления дисперсионного ядерного топлива являются: многостадийность, неравномерное распределение топливной фазы, необходимость использования большого количества химических реагентов, высокая энергоемкость производства. Новой и перспективной технологией изготовления дисперсионного ядерного топлива является плазмохимический синтез, который позволяет синтезировать многокомпонентную смесь с заданными физическими свойствами.

В настоящее время Томский политехнический университет проводит серию экспериментов (см. работу авторов [2]) по созданию технологии изготовления ядерного топлива плазмохимическим методом. Преимущество разрабатываемой технологии: одностадийность, низкая энергоемкость, возможность влиять на размер и морфологию частиц.

В этом исследовании мы проводим серию компьютерных расчетов, позволяющих определить теплофизические и нейтронно-физические свойства топлива, способного длительно (не менее 10 лет) находится под облучением в спектре высокотемпературной газоохлаждаемой реакторной установки [1].

Литература

1. Shamanin I.V., Grachev V.M., Chertkov Y.B., Bedenko S.V., Mendoza O., Knyshev V.V. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel // *Annals of Nuclear Energy*, 2018, 113, pp. 286-293.
2. Novoselov I. Yu., Karengin A.G., Babaev R.G. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // *AIP Conference Proceedings*. – 2018. – V. 1938. – P. 1-5.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВОГО РЕАКТОРА С ЗАСЫПКОЙ ИЗ ШАРОВЫХ ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОГРАММЕ SERPENT

Аль Гхаффер М.М., Смирнов А.Д., Тихомиров Г.В.

*Институт ядерной физики и технологий, Национальный
исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
e-mail: eng.murad92@gmail.com*

Работа посвящена моделированию высокотемпературного экспериментального реактора (HTTR) с графитовым замедлителем и гелиевым охлаждением, построенного с целью модернизации технологической базы современных высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов (HTGR) и проведения различных испытаний на облучение материалов в рамках инновационных высокотемпературных исследований.

Активная зона реактора с высотой 290 см и эффективным диаметром 230 см содержит 30 каналов с топливными стержнями и 7 каналов со стержнями управления. Горизонтальное сечение активной зоны представлено на рис. 1.

Топливный стержень состоит из 14 топливных брикетов и графитовой оболочки. Каждый топливный брикет содержит около 13 тыс. топливных частиц (CFP), встроенных в графитовую матрицу. Максимальное и минимальное значение обогащения топлива составляет 9.9 и 3.4 % соответственно. Высокообогащенное топливо размещается в верхней и внешней областях активной зоны для снижения максимальной температуры топлива. Поток газового теплоносителя направлен вниз через кольцевые каналы, образованные графитовым блоком и топливным стержнем.

Рассчитываемый бенчмарк [1] посвящен нейтронно-физическому и теплогидравлическому анализу стартового состояния реактора. Бенчмарк разбит на шесть подзадач.

Значения эффективного коэффициента размножения K_{eff} для различных состояний были рассчитаны с помощью программы Serpent [2] с использованием ядерных данных ENDF/B-VII [3]. Результаты расчетов были сравнены с опубликованными в

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

бенчмарке и других публикациях [4]. Сравнение показало хорошую согласованность результатов.

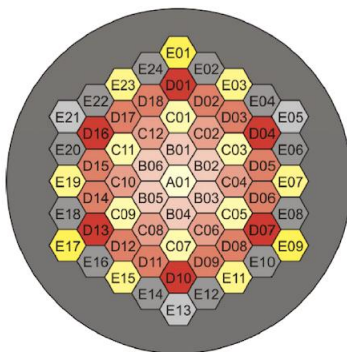


Рис.1. Картограмма АЗ реактора HTTR

Параллельно с задачей определения размножающих свойств активной зоны решалась задача подготовки групповых констант для дальнейшего расчета с помощью диффузионных кодов нейтронно-физического анализа.

Литература

1. IAEA. Evaluation of high temperature gas cooled reactor performance: Benchmark analysis related to initial testing of the HTTR and HTR-10. (2003).
2. Fridman, E., & Leppänen, J. On the use of the Serpent Monte Carlo code for few-group cross section generation. *Annals of Nuclear Energy*, 38(6), 1399–1405. (2011).
3. Herman, M., Carlson, Madland, D. G. ENDF/B-VII.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology. *Nuclear Data Sheets*, 107(12), 2931–3060. (2006).
4. Ho, H. Q., Honda, Y., Goto, M., & Takada, S. Investigation of uncertainty caused by random arrangement of coated fuel particles in HTTR criticality calculations. *Annals of Nuclear Energy*, 112, 42–47. (2018).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЗУЕМЫХ НА АЭС В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Альсьман М.А., Самохин Д.С.

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»
moh.salman85@gmail.com*

Безопасности и надежности эксплуатации атомных электростанций (АЭС) на этапе проектирования, строительства и эксплуатации уделяется большое внимание в ядерной технологии, что связано с высоким риском, связанным с данной технологией.

Надежное оборудование основа безопасной и экономичной эксплуатации АЭС. «Надежность это свойство готовности и, влияющие на него свойства безотказности и ремонтпригодности, и поддержка технического обслуживания» [1].

Радиоэлектронные устройства выполняют весьма широкий круг задач в работе АЭС. При этом в первую очередь возникает требование обеспечить их высокую надежность эксплуатации.

При расчете надежности электрорадиологических изделий, следует учитывать, что на надежность устройства может влиять ряд факторов, таких как понижение и повышение температуры, резкие скачки температуры, тепловой удар. Таким образом, интенсивность отказов данного типа элемента в реальных условиях работы, называют эксплуатационной интенсивности отказов, будем обозначать её как λ_3 вычисляется по математической модели [2]:

$$\lambda_3 = \lambda_0 \times \prod_{i=1}^m K_i$$

где m – количество факторов, принятых во внимание из числа влияющих на надежность элементов;

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

K_i – поправочный коэффициент, учитывающий влияние i -го фактора

Испытание электронных средств (ЭС) на климатические воздействия проводят для проверки способности изделий выполнять свои функции, сохранять параметры и/или внешний вид в пределах установленных норм при воздействии и после него.

Для уточнения правомерности поправочных коэффициентов электрорадиоизделий, используемых на объектах ядерных технологий, необходимо периодически проводить испытания на климатические воздействия. Результаты данных испытаний помогут снизить число отказов ЭС, предположить время отказа уже используемого оборудования, а также приблизить к нулю число отказов для вновь создаваемого оборудования и улучшить показатели надежности оборудования, что способствует лучшей безопасности и экономической выгоде.

Список литературы

[1] ГОСТ 27.002–89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1990.

[2] Справочник – 2006 «Надежность электрорадиоизделий», С.641

КРАТНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ ДОЗЫ ФОТОНОВ В БЕТОНЕ ДЛЯ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ С ЭНЕРГИЯМИ ОТ 10 ДО 90 МЭВ

Альхагаиш И.Х., Сахаров В.К.

НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия

конт. Тел +79160715149, e-mail: alhigesh@gmail.com

В качестве защитных материалов от тормозного излучения электронных ускорителей обычно используются бетон, поэтому целью настоящих исследований было получение характеристик ослабления мощности воздушной кермы фотонов для этого материала.

Кратности ослабления кермы фотонов в бесконечной защите из обычного бетона плотностью $2,3 \text{ г/см}^3$ для точечного изотропного и плоского мононаправленного источников моноэнергетических фотонов с энергиями 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 и 90 МэВ мы рассчитали. результатов расчетов методом Монте-Карло по программе MCNP5 [1] энергетических распределений фотонов в указанных материалах при толщине защиты в длинах свободного пробега μd от 0,25 до 30. Погрешности определения кратностей ослабления в основном определяются статистическими погрешностями расчетов и не превышали 3%.

На основе результатов расчетов методом Монте-Карло пространственно-энергетических распределений фотонов в бетоне, от точечных изотропных и плоских мононаправленных моноэнергетических источников с энергиями 10-90 МэВ определены кратности ослабления воздушной кермы рассматриваемыми материалами. Показана независимость кратностей ослабления от углового распределения излучения источника и слабая зависимость от его энергии в диапазоне энергий 30-60 МэВ. Полученная информация может быть использована в расчетах защиты от тормозного излучения электронных ускорителей инженерными методами.

Литература

1. J.F. Briesmeister, Ed. MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕЙ НЕЙТРОНОВ ЗАЩИТЕ ИЗ ЖЕЛЕЗА ОТ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ФОТОНОВ

Альхагаиш И.Х., Сахаров В.К.

*НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия
конт. Тел +79160715149., e-mail: alhigesh@gmail.com*

В задачах обеспечения радиационной безопасности при работе электронных ускорителей на энергии выше 10 МэВ важное значение приобретает вклад нейтронов в дозовые характеристики поля. Для оценки его в настоящих исследованиях были проведены расчеты эффективных доз нейтронов в плоской защите из железа и бетона при падении на нее фотонного моноэнергетического излучения плоского мононаправленного источника с энергией 10 - 90 МэВ.

Излучение плоского мононаправленного источника фотонов радиусом 200 см падало нормально на торцевую поверхность цилиндрической защиты радиусом 300 см. Рассчитывались характеристики полей фотонов и нейтронов на оси защиты. Размеры защиты и источника, расположение точек детектирования позволяли считать геометрию композиции как полубесконечную. Энергия фотонов источника варьировалась от 10 до 90 МэВ.

Расчеты характеристик полей излучений выполнялись методом Монте-Карло по программе MCNP5 [1]. Использовалась оценка по пересечениям поверхностей, указанных на рис.1, располагаемых на различных расстояниях от источника излучения на толщине защиты от 0 до 30 длин свободного пробега фотонов с энергией, соответствующей энергии фотонов источника.

Вычисления выполнялись в два этапа:

на первом этапе проводились расчеты спектров фотонов в диапазоне энергий от 6 до 90 МэВ на расстояниях от источника до 20 длин свободного пробега фотонов. Используя полученные расчетные результаты и данные по поперечным сечениям фотонейтронной реакции (γ, n) на изотопах элементов, составляющих естественный состав рассматриваемого материала

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

защиты, рассчитывались пространственно-энергетические распределения образующихся в результате реакции фотонейтронов.

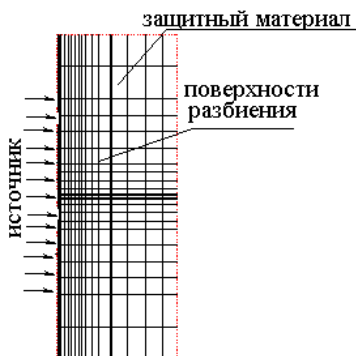


Рис.1. 1. Геометрия рассматриваемой композиции

Литература

1. J.F. Briesmeister, Ed. MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ БОРНОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ВЫХОДЕ НА МКУ

**Аль-Шамайлах А.И.АА., Соловьев Д.А., Семенов А.А.,
Джарум Б., Щукин Н.В., Савандер В.И.**

*Национальный исследовательский ядерный университет Московский
инженерно-физический институт (НИЯУ МИФИ), Москва
+79162449636, asema7078@gmail.com*

Пуск реактора — это отдельная сложная процедура, поэтому ей уделяется повышенное внимание, она регламентируется специальными инструкциями. Выход реактора на МКУ является одной из самых ядерно-опасных операций при эксплуатации. В данное время на АЭС с ВВЭР [1],[2] существуют программы нейтронно-физических расчетов, такие как имитатор реактора (ИР) и БИПР-7А. В отличие от БИПР-7А ИР ориентирован на выполнении функции информационной поддержки оператора АЭС в режиме реального времени. Эти программы производят расчет критической концентрации без опоры на данные ионизационных камер, в результате этого могут возникать неточности в определении критической концентрации борной кислоты. Кроме того, подпитку первого контура чистым конденсатом необходимо прекратить не менее чем за 15 минут до достижения МКУ, а эти программы не производят расчет времени до выхода в критическое состояние. В результате возникла идея разработки программы, которая бы предсказывала время до выхода в критическое состояние и критическую концентрацию борной кислоты только по показаниям измерительной аппаратуры без опоры на сторонний расчет.

Ключевые слова: ВВЭР-1000, МКУ, ИР, БИПР-7А.

Литература

1. Г.Г.Бартоломей Г.А.Бать В.Д.Байбако М.С.Алхутов. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. ЭНЕРГОИЗДАТ1982.
2. Г.Н.Власичев Е.И.Куликов Ю.П.Сухарев. Оптимизация нейтронно-физических характеристик реакторной установки типа вбэр для энергоблоков плавучего базирования. Современные наукоемкие технологии,(4), 2017.

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ МЮОННОГО ГОДОСКОПА УРАГАН

Аношина Е.С., Борог В.В., Шутенко В.В., Яковлева Е.И.

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет "МИФИ",
Москва*

конт. тел.: 89154941020, e-mail: anoshinaes79@gmail.com

В последнее время опубликованы работы, в которых приводятся результаты по непрерывной регистрации потока гамма-квантов с энергией 1 – 100 ГэВ из области солнечного диска во время 24 солнечного цикла, например [1]. Считается, что гамма-кванты являются продуктами распада нейтральных пионов от взаимодействия релятивистских протонов космических лучей с нуклонами атмосферы Солнца. Результаты получены впервые с помощью полетной обсерватории Fermi-LAT, но их временная зависимость на протяжении 11-летнего солнечного цикла в настоящее время не объяснена.

Нейтральные частицы (гамма-кванты), рожденные в солнечной атмосфере, распространяются к Земле по прямой линии, подобно лучу света. Межпланетное магнитное поле и магнитное поле Земли практически не искажают их траекторию. В атмосфере Земли за счет реакций фоторождения возникают короткоживущие заряженные пионы, которые быстро распадаются с образованием долгоживущих мюонов. При высоких энергиях все три поколения частиц лежат практически на одном луче. Поэтому возможно непрерывно регистрировать процессы данного типа на уровне Земли по атмосферным мюонам с использованием координатных детекторов высокого разрешения и большой апертуры.

В работе использован наземный широкоапертурный мюонный годоскоп УРАГАН, который состоит из 4-х отдельных горизонтальных супермодулей, площадью 11.5 кв. м каждый. УРАГАН обеспечивает регистрацию мюонов с высоким пространственным и угловым разрешением (около 1 см и 0.8° соответственно) в широком диапазоне зенитных углов (от вертикали

до 84°) [2]. Установка работает на протяжении ряда лет в круглосуточном режиме, данные по скорости счета мюонов непрерывно записываются в виде последовательности 1-минутных матриц по пространственным зенитным и азимутальным углам.

Методика идентификации основана на том, что мюоны «солнечного» происхождения от потока нейтральных частиц должны постоянно наблюдаться в виде добавки к фону космических лучей в определенных ячейках матриц в дневное время, пока световой луч проходит через апертуру годоскопа. Превышение постоянного потока мюонов «солнечного» происхождения над «фоновым» потоком будет являться указанием наличия релятивистских «солнечных» нейтральных частиц.

С помощью разработанной методики проведен пробный анализ данных мюонного годоскопа УРАГАН за 2009-2011 гг. Получены временные зависимости счета мюонов из «солнечного» и «фоновых» направлений для разных масштабов усреднения.

Литература

1. Qing-Wen Tang, Kenny C.Y. Ng, Tim. Linden, Bei Zhou, John F. Beacom, Annika H. G. Peter. Unexpected dip in the solar gamma-ray spectrum. Phys. Rev. D. Vol. 98, 063019 (2018).
2. Н.С. Барбашина, Р.П. Кокоулин, К.Г. Компаниец, G. Mannocchi, А.А. Петрухин, О. Saavedra, Д.А. Тимашков, G. Trinchero, Д.В. Чернов, В.В. Шутенко, И.И. Яшин. Широкоапертурный мюонный годоскоп большой площади УРАГАН. Приборы и техника эксперимента. № 2. С. 26-32 (2008).

ВОВЛЕЧЕНИЕ В СОСТАВ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ЛЕГКОВОДНЫХ РЕАКТОРОВ ПРОТАКТИНИЯ И НЕПТУНИЯ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Баатар Т., Куликов Е.Г.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

г. Москва,

+79858067911, e-mail: tuulnea@gmail.com

Актуальность: Одним из основных направлений развития ядерной энергетики является повышение эффективности использования топлива. Достигнутая в настоящее время глубина выгорания топлива составляет порядка 5% т.а., то есть лишь небольшая доля ядерного топлива расходуется для выработки электроэнергии [1, 2].

В настоящей работе исследуется вовлечение в состав топливных композиций легководных реакторов протактиния и нептуния с целью повышения выгорания топлива.

Цель: Определить состав топливных композиций, которые имеют максимально глубокое выгорание и небольшой запас реактивности за счет включения в состав топлива протактиния и нептуния. Рассмотрение провести для реактора типа ВВЭР-1000 с использованием программного комплекса SCALE-6.2 [3].

Практическая значимость: Увеличение глубины выгорания топлива благоприятно сказывается на экономике ядерной энергетики, приводя к снижениям количества операций в ядерном топливном цикле, что означает повышение защищенности топлива от неконтролируемого распространения.

Литература

1. Wikipedia, the free encyclopedia. Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Burnup> (2018).

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

2. LWR with High Burnup Fuel - База данных ядерной энергетики
Режим доступа: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/reactor-operation/fuel-burnup/lwr-with-high-burnup-fuel/>.
(2018).

3. B. T. Rearden, M. A. Jessee. SCALE Code System. Oak Ridge National Laboratory. (April 2016).

4. Библиотека оцененных ядерных данных JENDL-4.0.

5. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. Физические величины. Справочник. (М.: 1991).

МИНЕРАЛЬНО - СЫРЬЕВАЯ БАЗА УРАНА МАССИВА ХОГГАР (АЛЖИР)

Бадахмауи Т.¹, Бугриева Е. П.²

¹НИЯУ МИФИ, Россия, 115409, г. Москва, Каширское ш., 31,

²АО"ВНИИХТ", Россия, 115409, г. Москва, Каширское ш., 33.

Тел : +7(963)999-13-56, E-mail: tayeb.badahmaoui@yandex.ru.

Начиная с 1954 года, в Алжире была запущена первая программа разведки урана в Хоггаре, что позволило подтвердить наличие урановой минерализации в районах Эль-Бема (El-Bema), Фурон (Furon), Тимгауин (Timgaouine). [1, 2]

В пределах выходов докембрийских пород фундамента и перекрывающего их чехла выявлено несколько перспективных районов и участков: Тамарт-Н-Иблис (Tamart-N-Iblis), Тимузелин (Timouzeline), а также осадочный бассейн Тин-Сериин, рядом с алжирско-нигерской границей, где было обнаружено месторождение Тахаггарт (Tahaggart).

В Алжире по данным МАГАТЭ запасы урана в недрах оцениваются в 26 тыс. т, они относятся к ценовой категории до 260 дол/кг. [3] Запасы урана подсчитаны в месторождениях двух геолого-промышленных типов: связанных с гранитами и «несогласия» (табл. 1).

Месторождения первого типа локализованы в верхнепротерозойских жилах, связанных с разрывными нарушениями, которые пересекают Пан-Африканский гранитный батолит. К этому типу относятся месторождения Тимгауин (Timgaouine), Абанкор (Abankor) и Тинеф (Tinef) на юго-западе Хаггара. Запасы урана этого типа оцениваются в 24 000 т.

Второй тип представлен месторождением Тахаггарт, локализованным в выветрелых породах (реголитах) и в базальных конгломератах осадочных отложений бассейна Тин-Сериин (Tin-Seririne) в юго-восточной части массива Хоггар на границе между докембрийским фундаментом и несогласно залегающим палеозойским осадочным чехлом. Запасы урана этого типа оцениваются в 2000 т.

Таблица 1 – Общие запасы месторождений урана в Алжире [2,3]

Месторождение	Содержание U, %	Запасы	
		Руда, тыс. т	Металл, т
Абанкор	0,290	3 264	9 450
Тимгаун	0,157	7 442	11 732
Тиниф	0,100	374	374
Дэйра Южная	0,120	1 600	2 000
Тахагарт	0,215	781	1 677
Всего	0,201	13 461	25 233

Урановорудный металлогенический пояс массива Хоггар является наиболее хорошо изученным и перспективным для поисков, разведки и отработки месторождений урана на территории Алжира.

Литература

1. Inventaire et prospective des ressources minérales du Hoggar. Rapports internes SONAREM. Alger. (1977).
2. Khaldi A. Essai de classification des ressources uranifères découvertes en Algérie dans le cadre de la CCNU-2009 / UNECE Consultancy Meeting Preparing a technical document on "Best Practices in the Application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Material Reserves and Resources for Uranium and Thorium Projects". IAEA, Genève. (2016).
3. World Distribution of Uranium Deposits. IAEA-TECDOC-1843. IAEA, Vienna. C. 262. (2016).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБЛИЖЕНИЙ ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТВС ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Бани Хамад С.А., Демин В.М., Абу Сондос М.А.

*НИЯУ МИФИ, г. Москва, РФ
Salah.banihamad@icloud.com*

Для анализа ядерных и радиационных характеристик ядерного топлива используются различные компьютерные программы, отличающиеся методами расчета, набором исходных данных из разных ядерных библиотек и геометрическими представлениями конкретных конструктивных элементов: SERPENT и БРИЗ.

Указанные расхождения в методиках расчета и в исходной информации приводят к различиям в результатах расчетов и обсуждению причин их появления. Расхождение в результатах обусловлено в основном двумя причинами: различающимися методами расчета и геометрическими приближениями. Геометрические приближения включают в себя непосредственное отображение геометрической формы объектов и распределение материалов в них (гомогенное или гетерогенное). Такие приближения, как правило, используются в инженерных программах (БРИЗ), а в программах, реализующих метод Монте-Карло (SERPENT), применяется непосредственно реальная геометрия.

В данной работе первоначально методом Монте-Карло оценивается влияние геометрического представления задачи на расхождение результатов расчета поглощенной дозы гамма-излучения на разных расстояниях от поверхности источника. А в последующем анализируется расхождение результатов расчета мощности поглощенной дозы гамма-излучения в зависимости от применяемой методики расчета.

Для расчетов первоначально используется программный комплекс Serpent. Мощность поглощенной дозы от ОЯТ рассчитывается по единой методике (Serpent) и с постоянными

ядерными данными (ENDFB7); следовательно, расхождение в результатах может быть обусловлено только соответствующими геометрическими приближениями. Рассмотрены расхождения в результатах расчетов мощности поглощенной дозы гамма-излучения в двух геометрических приближениях: первая ситуация включает разное распределение материалов, гетерогенное (реальное) или гомогенное (приближенное) в одной и той же шестиугольной геометрии, как показано на рис. 1 и 2. Вторая ситуация рассматривает одно и тоже гомогенное (приближенное) распределение топлива в разных геометрических формах: гексагональной или цилиндрической, как показано на рис. 3 и 4.

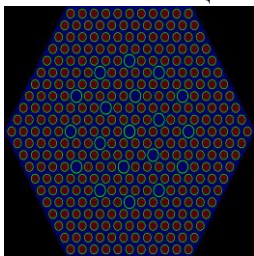


Рис.1 Реальная геометрия ОТВС (гетерогенное распределение материалов).

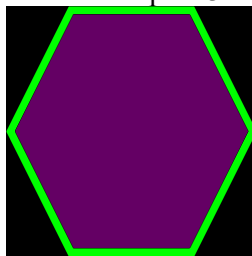


Рис.2 Приближенная геометрия ОТВС (гомогенное распределение материалов).

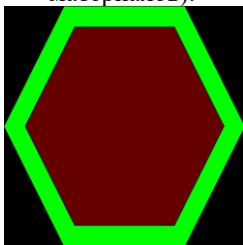


Рис.3 ОЯТ в шестиугольной геометрии.

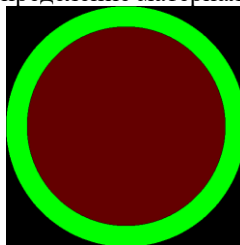


Рис.4 ОЯТ в цилиндрической геометрии

Список литературы

1. Leppänen J (2015) Serpent – a Continuous-energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code.
2. Программный комплекс оперативного расчета характеристик полей фотонного излучения БРИЗ-2 / НИЯУ МИФИ – Москва, 2015.– 89 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Беррекси Р., Уахиун М., Лаидани З.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия*

e-mail : berreksirabie@gmail.com, ouahioune.m@gmail.com

В области промышленного управления, объекты управления обладают динамическими свойствами, имеющими нелинейные характеристики. Метод управления ПИД (Пропорционально - интегрально - дифференцирующий) широко использован в системе управления, благодаря своей простой структуре. При попадании в процессе управления на границы зон нелинейностей объектов управления достаточно трудно получить высокую точность управления. Поэтому исследователи работают над интеллектуальными системами управления, в том числе управление с помощью нейронной сети, нечеткой логики, модельных прогностических регуляторов.

В данной работе рассматриваются интеллектуальные системы управления:

- Существуют различные стратегии **нейронного регулятора**. Здесь используется эталонная модель нейронной сети, состоящую из двух нейронных сетей: модель сеть и регулятора сеть. Модельная сеть обучается с использованием исторических (архивных) данных результата работы системы управления. Используя этот результат для обучения системы управления сети регулятора необходимо добиться чтобы результаты работы системы управления после обучения, не были хуже, а лучше, чтобы превосходили результаты работы системы управления с традиционными алгоритмами управления в соответствии с заданными критериями качества.

- **Модельные прогностические регуляторы (МРС)** которые используют модель системы для прогнозирования ее будущего поведения, затем разрабатывается алгоритм онлайн-оптимизации,

для выбора наилучшего управляющего воздействия, которое будет подано на объект управления.

- Управление на основе **нечеткой логики** использует предложения в форме правил для того, чтобы управлять тем или иным процессом. Целью базовых правил нечеткой логики является формализация и применение человеческого умозаключения. Нечеткая логика представляет собой набор математических принципов для представления и обработки знаний на основе степеней принадлежности, включенных в интервал $[0,1]$. Нечеткие регуляторы построены вокруг органа принимающего решения, который манипулирует субъективными и неточными правилами. Первым шагом в создании нечеткого регулятора является выбор входных и выходных переменных, на основе этих параметров мы определим правила управления. В целом весь процесс нечеткого управления можно разбить на несколько шагов: фаззификация, разработка нечетких правил и дефаззификация.

В работе рассматривается применение интеллектуальных регуляторов в системах управления обладающих динамическими свойствами первого и второго порядка в среде математического моделирования Matlab-Simulink, а также преимущества и недостатки рассмотренных интеллектуальных регуляторов.

Литература

1. Marcano-Gamero C. R., Plant identification and control using a neural controller based on reference model. (2014).
2. Бураков М.В., Коновалов А.С. Синтез нечётких логических регуляторов. Информационно-управляющие системы. (2011).
3. Taemiriosgouee A., Investigation of Model Predictive Control (MPC) for Steam Generator Level Control in Nuclear Power Plants. The University of Western Ontario. (2017)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ НЕЙТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ШАЛ С ОТКЛИКОМ В ЧВД НЕВОД

Богданов Ф.А., Булан А.В., Громушкин Д.М.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Научно-образовательный центр НЕВОД, Москва, Россия
конт. тел. 8(916)5967157. E-mail: acoustic925@gmail.com*

Исследование связи нейтронной и электронной компонент ШАЛ является важной задачей. Сопоставление данных между установками ЧВД НЕВОД и ПРИЗМА-32 позволяет связать данные по нейтронной компоненте ШАЛ с данными об электронно-фотонной компоненте, полученными на ЧВД НЕВОД.

С целью исследования нейтронной компоненты ШАЛ в экспериментальном комплексе НЕВОД (НИЯУ МИФИ) была создана установка ПРИЗМА-32 [1]. Установка состоит из двух совместно работающих кластеров, каждый кластер включают в себя 16 электронно-нейтронных детекторов сцинтилляционного типа, основой которых является неорганический сцинтиллятор ZnS(Ag)+LiF . Детекторы установки ПРИЗМА-32 располагаются на 4-м этаже экспериментального комплекса НЕВОД. Установка регистрирует две основные компоненты ШАЛ: электронно-фотонную и нейтронную. На рис. 1 представлен спектр ШАЛ по числу нейтронов.

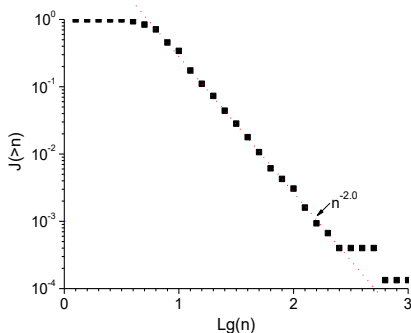


Рис. 1. Интегральный спектр ШАЛ по числу нейтронов.

Установка ЧВД НЕВОД представляет собой бассейн объемом 2000 м³, внутри которого располагается пространственная детектирующая решетка, состоящая из 91 квазисферического модуля с ФЭУ-200, регистрирующего черенковское излучение с любого направления практически с одинаковой эффективностью [2]. На рис. 2 представлено амплитудное распределение сигналов от электронно-фотонной компоненты в ЧВД НЕВОД.

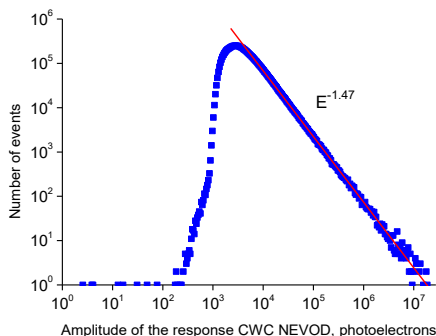


Рис. 2. Амплитудное распределение сигналов от электронно-фотонной компоненты в ЧВД НЕВОД.

Единая триггерная система позволяет осуществлять совместную обработку данных по нейтронной компоненте ШАЛ и черенковскому свету в объеме ЧВД.

В работе рассмотрены корреляции амплитуд отклика ЧВД НЕВОД и числа нейтронов, зарегистрированных установкой ПРИЗМА-32.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 18-32-00214 мол_a).

Литература

1. Gromushkin D. et al. The array for EAS neutron component detection // J. Instrum. 2014. Vol. 9. C08028.
2. Kindin V.V. et al. Cherenkov water detector NEVOD: a new stage of development // Physics Procedia. 2015. Vol. 74. P. 435 – 441.

МЕТОДЫ ПОНИЖЕНИЯ ДИСПЕРСИИ В ЗАДАЧАХ ГЛУБОКОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Богданова Е.В., Тихомиров Г.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
+7(916)288-39-19, EVBogdanova@mephi.ru*

При проектировании и эксплуатации ЯЭУ одной из важнейших задач является оценка радиационной защиты реактора. В настоящее время наиболее распространены детерминистические (метод дискретных ординат) и стохастические расчетные методы оценки функционалов [1]. При больших ослаблениях потока нейтронов (на 10 – 15 порядков) оценка физических параметров сопровождается наличием больших погрешностей, в связи с чем задачи на расчет глубокого проникновения излучения требуют больших вычислительных затрат.

Наиболее точное моделирование переноса излучения достигается за счет использования прецизионных программ, реализующих метод Монте-Карло, с непрерывной зависимостью сечений от энергии [2]. Однако, детальное описание геометрии и использование в расчетах непрерывных сечений взаимодействий частиц приводит к большому счетному времени.

Для повышения точности оценки расчетных функционалов и увеличения скорости счета существуют различные методы понижения дисперсии, заключающиеся в неналоговом моделировании Монте-Карло.

В данной работе рассмотрены основные методы понижения дисперсии в задачах на глубокое проникновение излучения и проанализированы современные тенденции развития прецизионных программ.

Для верификации методов понижения дисперсии в настоящей работе разработана тестовая задача на основе информации из международной базы данных экспериментов по радиационной защите и дозиметрии (SINBAD) [3]. Представлены основные результаты расчета тестовой задачи, полученные неналоговым моделированием Монте-Карло.

Литература

1. Г.Б. Ломаков. Повышение точности определения нейтронно-физических констант для расчета характеристик радиационной защиты реакторов на быстрых нейтронах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского, Обнинск, 2016.
2. И.Р. Суслов, И.А. Лямцев, С.В. Чернов, Гибридный метод расчета защиты ЯЭУ на основе схемы уменьшения дисперсии CADIS. Известия вузов. Ядерная энергетика. №2 (2013).
3. OECD Nuclear Energy Agency Data Bank SINBAD. URL: <https://www.oecd-neo.org/science/wprs/shielding/sinbad/>

ПОЛНАЯ ЭНЕРГИЯ ДЕЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА ВВЭР-1000

Богданович Р.Б.¹, Герасимов А.С.², Тихомиров Г.В.³

¹ *Белорусский Государственный Университет, Минск*

² *НИЦ «Курчатовский институт – ИТЭФ», Москва*

³ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

конт. тел. +375 33 600 83 94, e-mail RynatB@gmail.com

Важной задачей проектирования и эксплуатации ядерных реакторов является расчет поля энерговыделения в активной зоне. В многих программах реализованы методики расчета энерговыделения в которых не учитываются некоторые составляющие и поправки (например, программы SERPENT, MCU-PTR, Радуга, ТВС-М).

Использование прецизионной методики расчета энерговыделения, в которой учитываются описанные выше особенности, позволит повысить точность расчета характеристик ядерных реакторов.

С применением разработанной ранее методики расчета энерговыделения [1] и программы MCU-PTR, были проведены расчеты полной энергии деления и ее составляющих в зависимости от глубины выгорания ядерного топлива ВВЭР-1000.

Для расчета полной энергии деления был написан скрипт FisEnCorr.pl, с помощью которого проводился расчет полной энергии деления на основе значений скоростей ядерных реакций полученных по MCU-PTR. Использование скрипта позволяет корректировать значения полной энергии деления в библиотеке программы MCU-PTR и поддерживать критическое состояния модели.

Полную энергию деления можно рассчитать по формуле [2]:

$$E_{total} = E_f - E_{\bar{\nu}} - \Delta E_n - \Delta E_{\beta\gamma} + E_{nc} \quad (1),$$

где E_f – энергия деления, $E_{\bar{\nu}}$ – кинетическая энергия антинейтрино,

ΔE_n – поправка в кинетическую энергию нейтронов, $\Delta E_{\beta\gamma}$ – поправка в запаздывающее энерговыделение, E_{nc} – захватная энергия.

Расчет полной энергии деления в зависимости от глубины выгорания ядерного топлива был выполнен для модели ТВС 16ZSH с 2% обогащением оксидного топлива по ^{235}U . Полная мощность модели составляет 18405 КВт, разбиение временной шкалы на интервалы неравномерное, полное количество историй для каждого временного шага – 1.2 млн. В суммарный изотоп заносятся все изотопы с концентраций ниже 10^{-11} , кроме B10, U235, U238, PU39 и др.

Увеличение E_{total} в процессе работы реактора (рисунок 1) связано с ростом E_{nc} (в связи увеличением захватов на продуктах деления) и E_f (увеличение числа делений на ^{239}Pu).

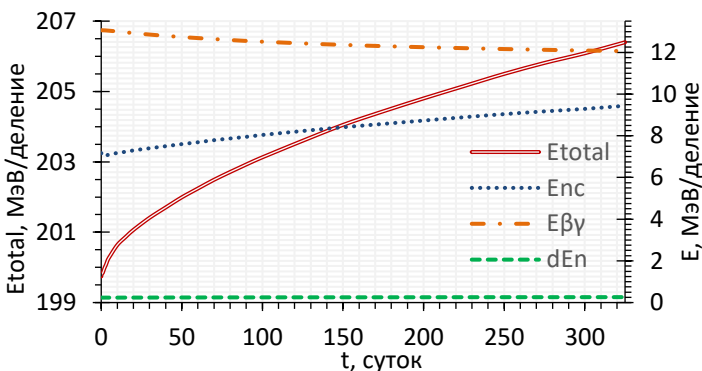


Рис.1. Зависимость полной энергии деления и ее составляющих от глубины выгорания ядерного топлива ВВЭР-1000.

Литература

1. Богданович Р.Б., Тихомиров Г.В., Сальдииков И.С., Терновых М.Ю., Герасимов А.С. Вклад реакций захвата нейтронов при прецизионных расчетах полного энерговыделения в ядерных реакторах // ВАНТ. Серия: ЯДЕРНО-РЕАКТОРНЫЕ КОНСТАНТЫ. 2017. № 1. с. 154–161.
2. Ma X.B. et al. Improved calculation of the energy release in neutron-induced fission // Phys. Rev. C - Nucl. Phys. 2013. Vol. 88, № 1.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМИ АГРЕГАТАМИ КИПЯЩЕГО СТЕНДА

Бондарь П.С., Просви́ров Н.О.

*НИИЦ "Курчатовский институт", г. Москва,
89670253553, bon.pavel2010@yandex.ru,*

На стенде КС, со времени его пуска в 1967 году, непрерывно ведутся эксперименты, в которых на моделях ТВС водо-водяных реакторов исследуются кризис теплоотдачи при кипении, устойчивость принудительной и естественной циркуляции теплоносителя, поперечное перемешивание теплоносителя, понижение теплотехнических запасов из-за локальных нарушений геометрии топливной сборки. Эти исследования необходимы для обоснования теплотехнических запасов активных зон реакторов и оптимизации конструкций ТВС реакторов. Управление стендом при пуске, работе, останове, в основном, осуществляется вручную дистанционно с центрального пульта. Вход в кризисное состояние осуществляется плавным повышением электрической мощности, подаваемой на модель ТВС, при сохранении величин остальных режимных параметров неизменными. Поскольку кризис теплоотдачи исследуется в стационарных условиях, вход в кризисное состояние производится плавно. Между набросами мощности выдерживается пауза, достаточная для того, чтобы убедиться, что температуры имитаторов твэлов стабилизируются. Для возможности плавного управления нагревом необходимо создать программное обеспечение алгоритмов управления тиристорными агрегатами стенда и систему отслеживания показаний датчиков экспериментальной установки [1].

Целью работы являлось создание комплекса управления экспериментальной установкой, включающего в себя автоматизированное рабочее место, интуитивно понятный человеко-машинный интерфейс, органы управления оборудованием экспериментальной установки и алгоритмы управления всеми системами стенда. Созданная система управления позволяет

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

оператору стенда в режиме реального времени удалённо управлять процессом эксперимента, получая наиболее полную информацию о всех составляющих частях стенда.

Базы данных для архивирования параметров экспериментальной установки кипящего стенда, человеко-машинный интерфейс, а также алгоритмы управления и защиты стенда созданы с помощью программ MWBridge, Display и Graph Editor из состава комплекса программного обеспечения «МИКСИС» программно-технического комплекса «УМИКОН» [2]. На рисунке 1 показан пример создания алгоритмов управления тиристорными агрегатами кипящего стенда с помощью алгоблочного программирования среднего уровня в программе MWBridge.

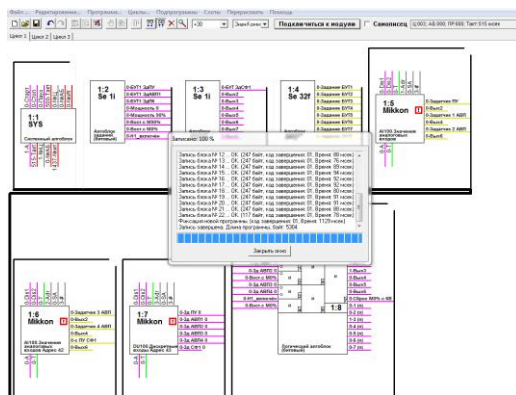


Рис.1. Создание алгоритмов управления тиристорными агрегатами кипящего стенда

Литература

1. Техническое задание на модернизацию стенда КС (2017).
2. Руководство пользователя MWBridge MLB (2018).
3. Руководство пользователя Display (2018).
4. GrafEditor, руководство пользователя (2018).
5. Ф.И. Ковалев, Г.П. Мосткова. Полупроводниковые выпрямители. (М.: Энергия. 1967).

ЗОНД ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ О ЯВЛЕНИИ ПРОБОЯ НА УБЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОНАХ В СТРАТОСФЕРЕ.

Брюханов К.А.¹, Курмашева Т.А.²

¹ НИЯУ МИФИ, Москва

² МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва

конт. тел.: 8(985)7171832, e-mail: kirillos9339@protonmail.com

Явление электрического пробоя известно достаточно давно и исследуется уже на протяжении нескольких столетий. Однако в 1992 году было открыто, что электрический пробой может происходить в результате особенностей взаимодействия частиц с веществом на большой скорости, что сопровождается интенсивным излучением в жесткой части спектра. На данный момент реализации проекта, большая часть данных собирается с помощью космических аппаратов на низких орбитах. Однако пробой может происходить и на высотах менее 30 км, и в таком случае большая часть излучения рассеивается. Образование заряженных частиц в атмосфере может повлиять на результаты других экспериментов [1, 2]. Жесткое излучение на высотах менее 10 км гипотетически может нести опасность для экипажей и пассажиров самолетов. Потому важно иметь наиболее полное представление об этом явлении.

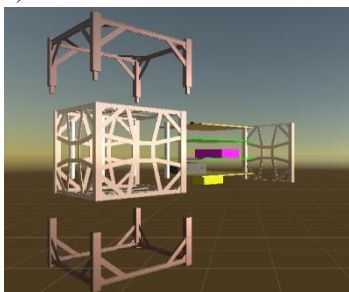
Целью работы является создание атмосферного зонда формата CubeSat (модель которого представлена на Рис.1(а)) для сбора данных об этих событиях на высоте ~30 км. Суть эксперимента заключается в наблюдении за изменением потоков, как высокоэнергетических электронов, так и излучения в оптическом диапазоне, а также анализе возможных корреляций измеренных параметров.

В ходе создания зонда была выбрана необходимая аппаратная база устройства. Для сбора статистики используется детектор (см. Рис.1(б)), состоящий из сцинтилляционного счетчика из полистирола толщиной 3 мм с размерами 15×15 мм², обернутого майларом и соединенного с двумя кремниевыми фотоумножителями (SiPM) 3×3 мм SensL MicroSB-30035-X13 [3]. Для оцифровки данных будет использоваться АЦП AD-7768-1 [4]. АЦП располагается на материнской плате. В качестве центрального процессора нами был

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

выбран SoC AM3358 на базе архитектуры ARM Cortex-A8. Для разработки будет использоваться SBC Beaglebone Black на базе данного чипа. Показания температуры снимаются с нескольких полупроводниковых датчиков DS18S20+. Датчик давления - LPS331AP. Для сбора данных об ускорении и вращении во время полета используется LSM9DS0. Дальнейшая разработка включает в себя: сборку аппаратного прототипа устройства, тестирование прототипа в лабораторных условиях, доработку аппаратной платформы по результатам прототипирования и оптимизацию ПО, проектирование материнской платы, изготовление корпуса.

а)



б)



Рис.1. Атмосферный зонд формата CubeSat: а) 3D модель, б) сцинтиллятор, кремниевый фотоумножитель и стабилизаторы напряжения

Литература

1. E. S. Cramer, J. R. Dwyer. Gamma-ray Emission In Planetary Atmospheres Due To Relativistic Runaway Electron Avalanches. Lunar and Planetary Science XLVIII (2017).
2. А. В. Гуревич, К. П. Зыбин. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы. УФН. Т.171. №11. С. 1177–1199 (2001).
3. <http://www.sensl.com/downloads/ds/DS-MicroBseries.pdf>
4. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad7768-1.pdf>

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБСТАНОВКИ НА ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Бушама Л., Дмитриева А.Н., Громушкин Д.М.

*Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ», Москва, Россия
+79154147158, e-mail: Lazhar-phy@hotmail.fr*

Для мониторинга нейтронного фона на ядерных объектах требуются эффективные нейтронные детекторы, малочувствительные к заряженным частицам. Для этой цели предлагается использовать нейтронный детектор, разработанный для установки ПРИЗМА-32 [1]. Детектор представляет собой сцинтилляционную пластину на основе ZnS(Ag) с добавлением ^6LiF . В данной работе проведено моделирование этого счетчика для оценки возможности его использования при мониторинге ядерных объектов.

Конструкция детектора (рисунок 1а) является стандартной для сцинтилляционных детекторов, но со специальным тонким неорганическим сцинтиллятором, чувствительным к тепловым нейтронам и с низкой чувствительностью к заряженным частицам.

Модель установки (рисунок 1б) была создана в программном пакете Geant4 [2] следующим образом: задана геометрия установки со зданием, подключены все необходимые физические процессы первичных и вторичных частиц и задан генератор частиц.

Была проведена проверка надежности подключенных моделей для расчета распространения и замедления тепловых нейтронов. В качестве эталона был выбран код Serpent [3] и промоделировано распространение нейтронов в обеих программах в разных средах. Предварительные результаты сравнения изображены на рисунке 2.

Между результатами Geant4 и Serpent имеется хорошее качественное совпадение, но некоторое количественное расхождение, которое будет изучено на следующем этапе работы.

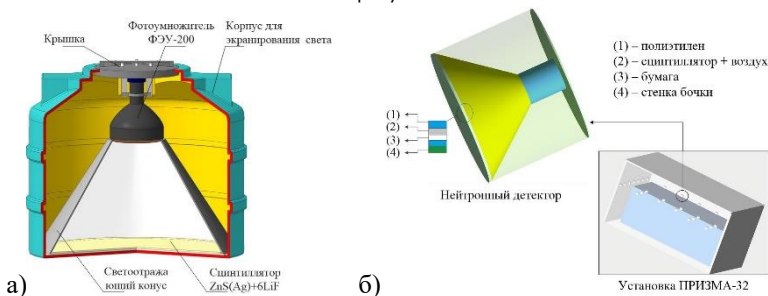


Рис.1. а) Конструкция эн-детектора, б) Визуализация геометрической модели нейтронного детектора установки ПРИЗМА-32 в Geant4

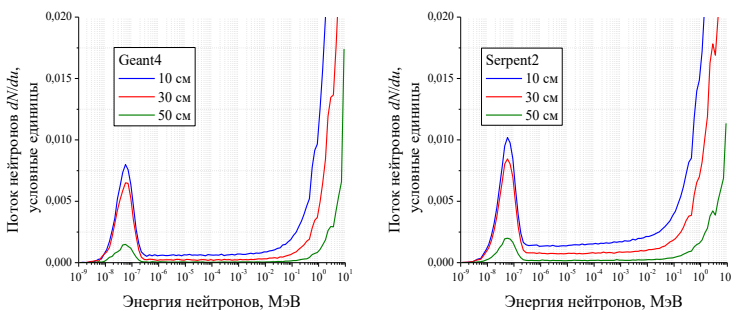


Рис. 2. Сравнение потоков нейтронов в воде, полученных в Geant4 и Serpent. Здесь $u = \ln(E_{\max}/E)$, $E_{\max} = 10$ МэВ

В дальнейшем планируется моделирование отклика данного детектора в случае нештатной ситуации, поток нейтронов в месте расположения детектора будет вычисляться с помощью Serpent.

Литература

1. D.M. Gromushkin, et al. The ProtoPRISMA array for EAS study: first results. J. Phys: Conf. Ser. 409. 012044 (2013).
2. S. Agostinelli, et al. GEANT4: A simulation toolkit. Nucl. Instrum. Methods. Vol. 506. P. 250–303 (2003).
3. J. Leppänen, et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. Ann. Nucl. Energy. P. 142–150 (2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ОРГАНА РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ДИНАМИКУ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Володин В.С.¹, Толоконский А.О.¹, Вердян А.Г.²

¹ *НИЯУ МИФИ, г. Москва*

² *АО Атомэнергoproject, г. Москва
89160043950, VSVolodin@mephi.ru*

Системы автоматического регулирования (САР) предназначены для автоматического изменения параметров объекта управления с целью установления требуемого режима его работы. САР обеспечивает поддержание постоянства заданных значений регулируемых параметров или их изменение по заданному закону.

Структура любой САР включает в себя объект управления, регулятор, исполнительные механизмы, органы регулирования, датчики, задатчик уставки и устройство сравнения. Каждый структурный элемент оказывает некоторое влияние на динамику системы регулирования. При проектировании систем регулирования, в частности на этапе синтеза регуляторов, необходимо учитывать влияние органов регулирования на динамику САР. Основными органами регулирования САР на энергоблоках АЭС являются задвижки и клапаны – например, регулирующие клапаны турбины, регулирующий клапан впрыска теплоносителя в компенсатор давления и т.д. Характеристики клапанов и задвижек, а также их тип оказывают большое воздействие на качество переходных процессов в различных режимах работы оборудования [1]. Также необходимо учитывать и такие особенности цифрового управления, как дискретная реализация регулятора, такт работы системы и т.д. [2].

В данной работе исследуется влияние органов регулирования пропорционального и интегрирующего типов на динамику цифровой системы регулирования, технологическая структура которой представлена на рисунке 1.

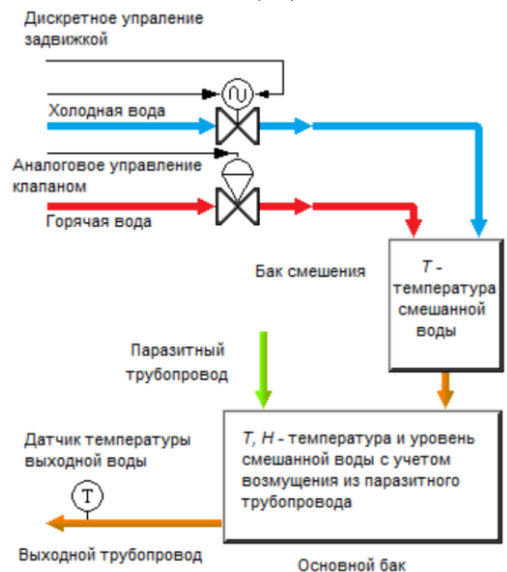


Рис.1. Структурная схема объекта управления

Данная система регулирования реализована на программно-техническом комплексе, включающем в себя блок эмуляции технологической схемы, представленной на рис. 1, ПК с базой данных реального времени, преобразователь RS485-USB, модуль с аналоговыми и дискретными входами/выходами, который реализует функции ПИД-регулирования.

Литература

1. Олссон Г., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управления [Текст] / Г. Олссон. – СПб.: Невский диалект, 2001. – 557 с., ил.
2. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием [Текст] / В.В. Денисенко. – М.: Горячая линия-Телеком, 2014. – 606 с., ил.

КАМЕРА АТМОСФЕРНОГО ЧЕРЕНКОВСКОГО ТЕЛЕСКОПА TAIGA-IACT: СТАТУС

Волчугов П.А. от коллаборации TAIGA

*Московский государственный университет им. Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия
тел.: +79642253323 E-mail: pvol4@ya.ru*

Гамма астрономия в настоящее время является одним из передовых каналов исследования удаленных объектов галактики и метagalктики, представляющих большой интерес для современной астрофизики. Для эффективного выделения гамма квантов из потока высокоэнергичных частиц, приходящих к нам из космоса, в настоящее время широко используются гибридные установки, включающие в себя, например, черенковские, сцинтилляционные, флуоресцентные и радио детекторы. К такому мультиканальному инструменту изучения далеких объектов относится и экспериментальный комплекс, расположенный в Тункинской долине, в 50 км от озера Байкал. Комплекс состоит из черенковской установки Тунка-133 [1] и гамма-обсерватории TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray and Gamma Astronomy) [2]. В состав последней входят широкоугольная черенковская установка TAIGA-HiSCORE (High Sensitivity COsmic Rays and gamma Explorer) [3], атмосферный черенковский телескоп установки TAIGA-IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope) [4], сцинтилляционная установка Tunka-Grande [5] и радио детектор Tunka-Rex [6]. Совместная работа установок Тунка-133, Tunka-Grande и Tunka-Rex нацелена на изучение заряженных космических лучей в диапазоне энергий от 10 до 1000 ПэВ. Поиск и исследование локальных источников гамма-квантов с энергий более 30 ТэВ осуществляется при помощи установок TAIGA-HiSCORE и TAIGA-IACT.

Телескоп установки TAIGA-IACT представляет собой отражатель площадью ~ 10 м², закрепленный на альт-азимутальной монтировке, в фокусе которого расположена камера диаметром ~ 110 см. Она состоит из 560 ФЭУ, регистрирующих черенковское излучение от движущихся в атмосфере высокоэнергичных

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

заряженных частиц. Изображение, формируемое камерой, позволяет выделять гамма кванты высоких энергий из фона космических лучей.

Работа посвящена обзору текущего статуса камеры для второго атмосферного черенковского телескопа установки TAIGA-IACT. Описаны основные составляющие камеры и принципы их взаимодействия. Так же приведены условия выработки триггера и основные этапы обработки данных.

Литература

1. S.F. Berezhnev et al., The Tunka-133 EAS Cherenkov light array: status of 2011, Nucl. Instrum. Meth. A 692 (2012) 98
2. Буднев Н.М. и др. Эксперимент TAIGA: от физики космических лучей к гамма-астрономии в Тункинской долине// Физика элементарных частиц и атомного ядра. Т. 49 ВЫП.4.2018.
3. TAIGA collaboration, O. Gress et al., The wide-aperture gamma-ray telescope TAIGA-HiSCORE in the Tunka Valley: Design, composition and commissioning, Nucl. Instrum. Meth. A 845 (2017) 367.
4. N. Lubsandorzhev. Camera of the first TAIGA-IACT: construction and calibration, PoS ICRC2017 757.
5. Monkhoev R.D. et al. The Tunka-Grande experiment // Journal of Instrumentation $\sigma\tau$, № 6 (2017) 06019.
6. O. Fedorov, et al. - Tunka-Rex Coll. Proceedings of Science PoS(ICRC2017)387 (2017)

О ПОЛУЧЕНИИ РЯДА ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ ФИЗИКИ ИЗ ПРИНЦИПА AB INITIO

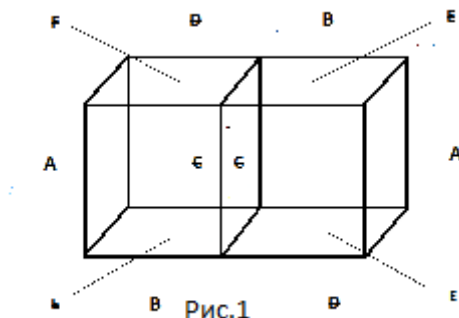
Воронцов В. А.

НИЯУ МИФИ, Москва

+7 495 788 56 99 д. 9042, vva@inbox.ru

Китайские физики построили первый генератор запутанных фотонов [1], который удовлетворяет четырем ключевым критериям: работает только «по требованию», создает фотоны с высокой степенью запутанности, неразличимости и эффективности. До этого ученым удавалось добиться только трех из этих критериев. Представляет интерес физика запутанных фотонов. В работе рассматривается одно из возможных их представлений.

Прежде всего предполагается, что связь между ними материальна и носит квантовый характер. Одно из её выражений, это квантовая нить, связывающая два фотона, как показано на рис. 1.



На рис 1 изображены два квантовых элемента нити. Буквами обозначены грани двух квантов, один из которых повёрнут по часовой стрелке вокруг оси OZ, другой против часовой стрелки. Далее оба кванта совершают внутреннее вращение вокруг осей OX и OY, сохраняя выбранные направления. Это приводит к тому, что выстраивается квантовая нить, грани которой в месте соединения квантов одинаковы. Таким образом при чётном числе фотонов на концах нити имеем одинаковые фазы, при нечётном – разные. Нить

распространяется вдоль оси ОУ соединения фотонов с одинаковыми смежными фазами. Если длина нити постоянна, то на её концах будут появляться одинаковые последовательности фаз практически мгновенно. Информация передаваемая в этом случае, может быть раскодирована с помощью ключа. В случае изменения последовательности фаз на одном конце нити, на другом конце её появится та же информация, распространяемая со скоростью света.

Таким образом, в работе приведен один из возможных механизмов передачи информации с помощью запутанных фотонов, реализованной китайскими физиками с помощью спутника Мо-Цзы, на расстояние около 1200 км [2]. Ряд деталей эксперимента не опубликован, поэтому дальнейшее уточнение модели данного способа передачи информации пока не представляется возможным. Описана лишь одна из возможных схем его реализации с помощью квантовой нити.

Литература

1. Hui Wang et al. / *Physical Review Letters*, 122, 113602, 2019
2. Juan Yin et. al/ *Science* 16 Jun 2017:Vol. 356, Issue 6343, pp. 1140-1144

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССООБМЕНА В СИСТЕМЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СВЯЗАННЫХ КАНАЛОВ НА ПРИМЕРЕ КАССЕТЫ ИРТ-3М ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИР-8

Глыва К.И.^{1,2}, Никонов С.П.¹

¹ Национальный исследовательский ядерный университет (НИЯУ) МИФИ

² НИЦ “Курчатовский институт”

+79637753581 glyva_ki@nrcki.ru

В работе приведён анализ результатов моделирования одного из типов ТВС, используемых в исследовательском реакторе ИР-8. ИР-8 - исследовательский реактор бассейнового типа мощностью до 8 МВт с легкой водой в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней защиты.

Для теплогидравлических расчётов ИР-8 используются гидродинамические характеристики (в частности, скорости теплоносителя в зазорах ТВС), полученные в ходе экспериментов на гидравлическом стенде с макетом восьмитрубной ТВС ИРТ-3М в Курчатовском институте [1].

Ранее уже была проведена работа по анализу результатов гидравлических испытаний восьми- и шеститрубной ТВС ИРТ-3М реактора ИР-8 с помощью кода ATHLET [2], однако, в данной работе не было уделено должного внимания разбиению гидравлических структур на сектора.

В коде ATHLET с помощью объекта CROSSCONNECTION [3] возможно смоделировать массообмен в системе параллельных связанных каналов, что делает возможным разбить каждый зазор в модели ТВС согласно используемой в настоящее время модели для расчета потоков нейтронов методом Монте-Карло. Это позволяет получить более детальное пространственное распределение не только скоростей теплоносителя, но и остальных теплофизических параметров, которые могут быть использованы в нейтронно-физическом расчёте. На рисунке 1 представлено поперечное сечение шеститрубной ТВС с азимутальным разбиением.

Впервые определены значения скоростей воды в угловых участках ТВС ИРТ-3М. Результаты этой работы могут быть

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

использованы при определении допустимой мощности исследовательских реакторов типа ИРТ: ИР-8 в НИЦ КИ (Москва), ИРТ-МИФИ в НИЯУ МИФИ (Москва), ИРТ-Т в ТПУ (Томск) и WWR-SM в ИЯФ (Ташкент).

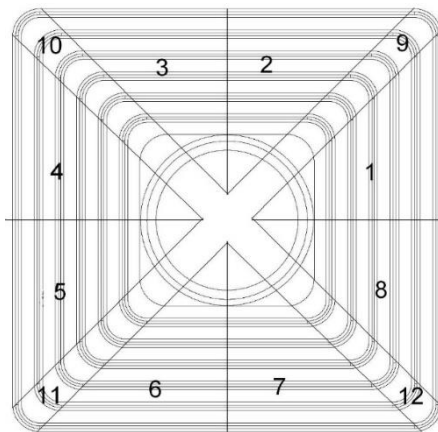


Рис.1. Поперечное сечение шеститрубной ТВС с азимутальным разбиением, 1-12 номера секторов

Литература

1. Насонов В.А., Рязанцев Е.П., Талиев А.В. Яшин А.Ф. Определение скорости воды в зазорах ТВС ИРТ-3М, -4М - Атомная энергия, 2011, т.110, вып.6, с.317-321.
2. Glyva, K.I., Nikonov, S.P., Nasonov, V.A., Pesnya, Y.E. Analysis of the IR-8 reactor's IRT-3M FA hydraulic tests results using the ATHLET code. — Journal of Physics: Conference Series 1133(1), P012030, 2018.
3. Lerchl G., Austregesilo H. ATHLET Mod 2.2 Cycle B, User's Manual. Gesellschaft fur Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Германия, 2011.

**РЕЗОНАНСНАЯ МОДЕЛЬ СВЯЗАННЫХ КАНАЛОВ В
ЗАДАЧЕ РАССЕЯНИЯ $D+^3\text{He}$ ВБЛИЗИ УРОВНЯ $(3/2)^+$
ЯДРА ^5Li**

Годес А.И.

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Россия
+79208983208, spartakalex46@mail.ru*

Для описания низкоэнергетического рассеяния заряженных частиц можно использовать приближение эффективного радиуса [1], которое дает модельно-независимое описание изучаемых процессов. Параметрами этого приближения являются ядерно-кулоновская длина рассеяния и эффективный радиус, которые становятся комплексными величинами в случае рассеяния составных частиц [2]. Этот метод показал свою эффективность при описании $d-t$ и $d^3\text{-He}$ взаимодействия вблизи резонансов $(3/2)^+$ ядер ^5He и ^5Li . Другим вариантом описания низкоэнергетического $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ рассеяния является резонансная модель связанных каналов [3]. В работах с участием автора доклада, в том числе в [4] был разработан аналитический вариант этой модели и была установлена эквивалентность резонансной модели связанных каналов и приближения эффективного радиуса и связь их параметров. Было установлено также, что экспериментальных данных одного типа недостаточно для определения истинных параметров, лежащих в основе обоих подходов. На этой основе были определены параметры приближения эффективного радиуса, отличные от найденных в [2], описывающие как сечение реакции термоядерного синтеза $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$, так и сечение упругого dt -рассеяния, и параметры резонансного и теневого полюсов S -матрицы, отвечающих резонансу $(3/2)^+$ ядра ^5He .

В настоящей работе аналогичный подход был применен к описанию $d+^3\text{He}$ вблизи уровня $(3/2)^+$ ядра ^5Li на основе резонансной модели связанных каналов. Было установлено, что экспериментальные данные по сечению реакции синтеза хорошо описываются с помощью единственного набора параметров, вытекающего из параметров приближения эффективного радиуса

для данной реакции [5]. Как следствие, были найдены местоположения резонансного (R) и теневого (S) полюсов S-матрицы рассеяния:

$$Z_R = 205.7 - i146.8 \text{ (кэВ)}$$

$$Z_S = 272.5 - i111.7 \text{ (кэВ)}.$$

Полученные результаты в дальнейшем предполагается использовать для описания резонансов $(3/2)^+$ ядер ^5He и ^5Li при их возбуждении и распаде в многочастичных ядерных реакциях.

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика т.3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. (М: Наука. 1974).
2. Карнаков Б.М., Мур В.Д., Поздняков С.Г., Попов В.С. Аналитическая структура амплитуды d-t рассеяния вблизи упругого порога. Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. т. 51. вып. 7. с. 352-355 (1990).
3. Bogdanova L.N., Hale G.M., Markushin V.E. Analytical structure of S-matrix for the coupled channel problem $d + t \leftrightarrow n + \alpha$ and the interpretation of the $J^{\pi\pi} = (3/2)^+$ resonance in the ^5He . Phys. Rev. C. v.44. n.4. p. 1289-1295 (1991).
4. Годес А.И., Шаблов В.Л. Определение параметров резонансной модели связанных каналов для термоядерной реакции $^3\text{He}(d,p)^4\text{He}$ и параметров резонансного и теневого полюсов многочастичной S-матрицы рассеяния, отвечающих второму возбужденному состоянию ядра ^5Li . Будущее атомной энергетики AtomFuture 2018. XIV Международная научно-практическая конференция. с.103-104 (2018).
5. Карнаков Б.М., Мур В. Д., Поздняков С.Г., Попов В.С. Полюсы и резонансы в низкоэнергетическом рассеянии заряженных частиц. Ядерная физика. т.54. вып. 2 (8). с. 400-403 (1991).

УТИЛИЗАЦИЯ И ИММОБИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В МАТРИЦЕ ИЗ ХЛОРИДОВ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЫ

Головков Н.И., Тихонов А.Е., Новоселов И.Ю.

*Томский политехнический университет, Томск
тел.: 8-913-814-11-69, e-mail: golniigo@gmail.com*

Отходы переработки отработавшего ядерного топлива (ОП ОЯТ) после первого экстракционного цикла не содержат уран и плутоний, но содержат продукты деления, элементы конструкционных материалов и имеют следующий модельный состав [1]: HNO_3 – 18,0 %, H_2O – 81,4 %, Fe – 0,07 %, Mo – 0,1 %, Nd – 0,1 %, Y – 0,07 %, Zr – 0,07 %, Na – 0,05 %, Ce – 0,04 %, Cs – 0,04 %, Co – 0,03 %, Sr – 0,03 %. Действующая технологическая схема по обращению с такими отходами предусматривает их выпаривание, добавление матричных реагентов (силикаты, фосфаты, бораты) и остекловывание (битумирование, цементирование) с последующим захоронением. К серьезным минусам такой технологии относят многостадийность, энергозатратность, потребность в большом количестве химических реагентов. Следует отметить, что данная технология исключает возможность извлечения ценных и благородных металлов (в частности, Rh, Pd, Ru) из этих отходов, которые образуются со временем [2].

Таким образом, актуальным является понижение энергозатрат на процесс переработки ОП ОЯТ, которое может быть достигнуто при их переработке в воздушной плазме, в результате которой будут образовываться твердые дисперсные оксидные продукты, включая магнитный оксид железа. Это даст возможность посредством магнитной сепарации эффективно извлекать продукты из водных суспензий для последующей плазменной иммобилизации в расплавах хлоридов металлов (NaCl , KCl), стойких к радиационному облучению. Это даст возможность радикально уменьшить стоимость утилизации и иммобилизации за счет сокращения количества передельных операций, объема емкостного оборудования, затрат химических реагентов, энерго- и трудозатрат,

а также даст возможность извлекать ценные и благородные металлы, путем растворения брикета с металл-хлоридной матрицей – все это обуславливает практическую значимость работы.

В работе проведено термодинамическое моделирование процесса и установлено, что основными продуктами переработки в температурном интервале 1050–1100 К будут являться MoO_3 , Nd_2O_3 , Fe_2O_3 , CeO_2 , ZrO_2 , SrZrO_3 , Y_2O_3 и др. На модельных растворах были проведены экспериментальные исследования с использованием плазменного стенда на базе высокочастотного плазмотрона факельного типа (рисунок 1а). На рисунке 1б представлен образец плазменной иммобилизации продуктов утилизации ОП ОЯТ в расплаве NaCl.

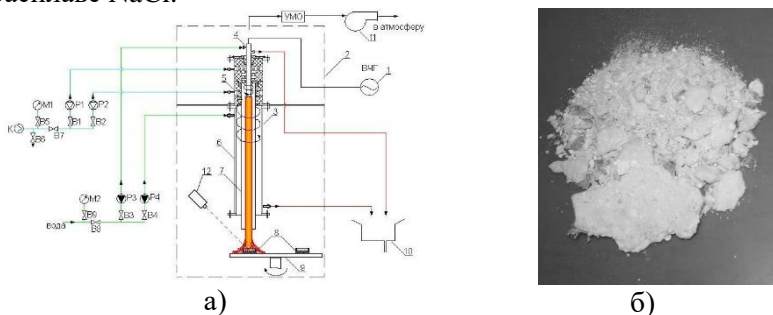


Рис.1. Плазменный стенд на базе высокочастотного факельного плазмотрона (а); образец плазменной иммобилизации продуктов утилизации ОП ОЯТ в расплаве NaCl

Литература

1. Новоселов И.Ю., Подгорная О.Д., Шлотгауэр Е.Э., Каренгин А.Г., Кокарев Г.Г. Плазменная утилизация и магнитная сепарация модельных отходов переработки отработавшего ядерного топлива // Известия вузов. Физика. – 2014. – Т. 57. – №. 2/2. – С. 26–30.
2. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 759 с.

**РЕГИСТРАЦИЯ КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ
МАГНИТНЫМ СПЕКТРОМЕТРОМ PAMELA**

Голуб О.А., Майоров А.Г.

НИЯУ МИФИ, Москва

+7(967)025-21-18., ogolub394@gmail.com

В докладе приводится методика идентификации гамма-квантов в космическом эксперименте PAMELA [1], а также предварительные результаты измерения их потока в плоскости галактического диска и на высоких галактических широтах. Несмотря на то, что прибор PAMELA был предназначен для регистрации заряженных частиц, предложенная методика позволяет обнаруживать гамма-кванты с энергиями выше нескольких ГэВ и определять направление их прилёта. В работе приводится сравнение полученных результатов с результатами измерений гамма-обсерваториями Fermi и EGRET [2,3].

Литература

1. O. Adriani, G. Barbarino, G.A. Bazilevskaya et al, PAMELA - A Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics, *Astroparticle Physics*, V.27, PP. 296–315, 2007.
2. A. A. Abdo et al. (Fermi LAT Collaboration), *Phys. Rev. Lett.* 103, 251101 (2009).
3. Fermi-LAT Collaboration (Abdo, A.A. et al.) *Astrophys.J.* 734 (2011) 116.

**ВЫХОД АТОМОВ ОТДАЧИ ^{99}Mo В РЕАКЦИИ
 $^{100}\text{Mo}(\text{p}, \text{np})^{99}\text{Mo}$ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НАНОПЛЕНОК Mo В
ЦИКЛОТРОНЕ**

***Дергачева А.Е., Артюхов А.А., Загрядский В.А.,
Кравец Я.М., Кузнецова Т.М., Рыжков А.В., Удалова Т.А.,
Чувилин Д.Ю.***

*НИИЦ "Курчатовский институт", Москва, Россия
E-mail: dergacheva.anska@yandex.ru
Телефон: +7(985)641-14-05*

Молибден-99 (^{99}Mo) является одним из наиболее востребованных радионуклидов в ядерной медицине. Современное крупномасштабное производство ^{99}Mo основано на использовании осколочного молибдена - продукта деления ^{235}U . Наиболее слабая сторона такого производства - крайне неэффективное использование урана и необходимость утилизации большого количества радиоактивных отходов.

Получение ^{99}Mo экологически чистым методом возможно в ядерной реакции $^{100}\text{Mo}(\text{p}, \text{np})^{99}\text{Mo}$ на циклотроне. Предлагаемый в настоящей работе способ получения ^{99}Mo путем облучения изотопа ^{100}Mo пучком протонов циклотрона опирается на эффект Сцилларда–Чалмерса, согласно которому, радионуклиды, образованные в ядерной реакции $^{100}\text{Mo}(\text{p}, \text{np})^{99}\text{Mo}$, могут покидать исходное вещество и фиксироваться в окружающем материале.

Измерения выхода атомов отдачи ^{99}Mo необходимы для создания эффективной мишени для производства этого радионуклида. Конструкция такой мишени предполагает выход атомов отдачи ^{99}Mo из нанослоев или наночастиц молибденовых соединений, фиксацию их в буферном веществе в процессе облучения и последующее разделение материнского и буферного материалов.

Эксперименты по измерению выхода радионуклида ^{99}Mo по ядерной реакции $^{100}\text{Mo}(\text{p}, \text{np})^{99}\text{Mo}$ были проведены облучением нанопленок металлического молибдена протонами с энергией 28 МэВ в циклотроне У-150. Энергия атомов отдачи ^{99}Mo в этой реакции достигает 280 кэВ.

Пленки металлического молибдена толщинами 30 – 150 нм наносились на сапфировые пластинки магнетронным распылением. Приемником атомов отдачи служила пленка алюминия толщиной 200 нм на другой сапфировой пластинке, расположенной на расстоянии 0.2 мм от молибденовой пленки. Активность ^{99}Mo в источнике и приемнике измерялись на гамма-спектрометре по линии $^{99\text{m}}\text{Tc}$ с энергией 140 кэВ.

Выводы:

Определена длина пробега атомов отдачи ^{99}Mo в природном металлическом молибдене, которая составила 32 ± 6 нм.

Максимальный выход ^{99}Mo при облучении мишени протонами с энергией 28 МэВ имеет место при толщине слоя 80 ± 5 нм.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МИНИМИЗАЦИИ ВОДООБМЕНА ПРИ УПРАВЛЕНИИ МОЩНОСТЬЮ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

***Джарум Б., Соловьев Д.А, Семенов А.А,
Аль-Шамайлах А.И, Щукин Н.В, Савандер В.И.***

*Национальный исследовательский ядерный университет
«НИЯУ МИФИ», Москва, Россия*

Конт. тел: +79636934940, e-mail: bel.djar111215@gmail.com

Для решения оптимизационной задачи минимизация водообмена в первом контуре реактора ВВЭР-1000, работающего в маневренном режиме, предлагается использовать метод динамического программирования (МДП). Однако этот метод, является очень затратным по объемам оперативной памяти и времени проведения расчетов. Для того, чтобы снизить вычислительные затраты этого алгоритма, была введена эвристика. Введение эвристики позволяет отсечь неэффективные ветви в алгоритме МДП и повысить его быстродействие без потери точности. В статье описывается алгоритм построения эвристики для минимизации водообмена при маневрировании мощностью реактора ВВЭР-1000. Эвристики представляют из себя набор методов, используемых для решения сложных задач оптимизации [1]. Известно, что эвристический алгоритм обычно используется, когда неизвестно оптимальное решение проблемы и нужно найти хорошее решение пусть и не оптимальное. Чтобы создать этот алгоритм были выбраны три управляющие воздействия мощностью реактора ВВЭР-1000: перемещение управляющих групп, борное и температурное регулирование [2,3]. На рисунке 1 приведены оценки водообмена при различных вариантах работы эвристического алгоритма:

- Вар1: без температурного регулирования
- Вар2: узкий диапазон температурного регулирования
- Вар3: широкий диапазон температурного регулирования

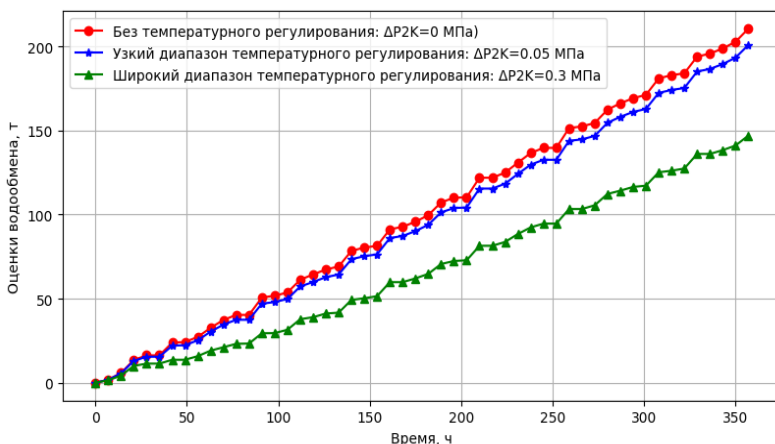


Рис.1. Оценки затрат при различных вариантах эвристического алгоритма

Полученные результаты, показанные на рисунке1, позволяют подтвердить важность использования регулятора температуры с увеличенным диапазоном изменения давления во втором контуре (ΔP). Таким образом, переходя от $\Delta P = 0$ МПа к $\Delta P = 0,05$ МПа, а затем к $\Delta P = 0,3$ МПа, мы получили снижение водообмена соответственно на 4,61% и 30,2%.

Литература

1. J. Karppinen, Spatial reactor control methods, Nuclear science and engineering: 64, 657-672 (1977).
2. С. П Аверьянова, А.А Дубов, К.Б Косоуров и др. Работа ВВЭР-1200/1300 в суточном графике нагрузки. — Атомная энергия, ноябрь 2012, т. 113, вып. 5, с. 247 —252.
3. С. П Аверьянова, А. А Дубов, К.Б. Косоуров, П. Е Филимонов, Температурное регулирование и маневренность ввэр-1000. (ИЯР РНЦ «Курчатовский ин-т», г. Москва) Атомная Энергия, т. 109, вып. 4, октябрь 2010.

ТРУДНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШЕНИЙ НЕРАВЕНСТВ ВИГНЕРА НА СОСТОЯНИЯХ ПАР НЕЙТРАЛЬНЫХ КАОНОВ

Ефимова А.Ю.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия

E-mail: efimova.ai17@physics.msu.ru , Тел: 8 921 332 60 52

Неравенства Вигнера позволяют экспериментально проверить нарушение концепции локального реализма [1] в квантовой механике. Используются запутанные по аромату пары нейтральных каонов, которые рождаются в полностью запутанном белловском состоянии [2]

$$|\Psi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|K^{0(2)}\rangle |\bar{K}^{0(1)}\rangle - |\bar{K}^{0(2)}\rangle |K^{0(1)}\rangle) \quad (1)$$

в распадах $\phi(1020)$ -мезонов на Φ -фабриках [3]:

При «реалистичном» моделировании экспериментальных результатов необходимо учитывать вклад фоновых процессов. В качестве модели «реалистичного» состояния каонов выбрано состояние Вернера: $\hat{\rho}^{(\omega)} = x |\Psi^-\rangle \langle \Psi^-| + \frac{1}{4}(1-x)\hat{1}$, где x – параметр, пробегающий значения от 0 до 1. В работе рассматриваются только статические неравенства Вигнера [4].

Для описания состояния каждого из двух каонов существуют три естественных базиса: базис $|K\rangle, |\bar{K}\rangle$, базис $|K_1\rangle, |K_2\rangle$, базис $|K_L\rangle, |K_S\rangle$ [5]. Таким образом для запутанного состояния двух каонов имеются три пары дихотомных переменных. При помощи принципа макроскопического реализма можно составить двенадцать неравенств. Пример одного из неравенств:

$$\omega(\bar{K}^{0(2)}, K_S^{0(1)}) \leq \omega(K_2^{0(2)}, K_S^{0(1)}) + \omega(\bar{K}^{0(2)}, K_2^{0(1)}). \quad (2)$$

Все вероятности, входящие в неравенства Вигнера, выражаются через параметр СР-нарушения [6] $|\varepsilon| = (2,228 \pm 0,011) \times 10^{-3}$, $\text{Re}(\varepsilon) = (1,596 \pm 0,013) \times 10^{-3}$.

Двенадцать неравенств Вигнера сводятся к четырем неравенствам относительно параметра ε . На чистом белловском состоянии $|\Psi^-\rangle$ нарушается одно неравенство

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

$$|Re(\varepsilon)| \leq |\varepsilon|^2. \quad (3)$$

Если воспользоваться состоянием Вернера, то неравенство (3) переписывается в следующем виде

$$x(1 + 2|Re(\varepsilon)| - |\varepsilon|^2) \leq 1 + |\varepsilon|^2. \quad (4)$$

Анализ неравенства показывает, что для экспериментального обнаружения нарушения неравенства (4) необходимо, чтобы степень чистоты начального состояния пары нейтральных каонов превосходила 99%, что не может быть реализовано ни в каком ускорительном эксперименте из-за наличия фоновых процессов.

Литература:

1. A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen, Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete? Phys. Rev. 47, 777 (1935).
2. W. M. de Muynck, The Bell inequalities and their irrelevance to the problem of locality in quantum mechanics, Phys. Lett. A114, 65 (1986).
3. W. Kluge, "Physics with DAΦNE", Nucl.Phys.B Proc.Supp. 135, pp.357-363 (2004).
4. E. P. Wigner, Am. J. Phys. 38, 1005 (1970).
5. N. Nikitin, V. Sotnikov, and K. Toms, Proposal for experimental test of the time-dependent Wigner inequalities for neutral pseudoscalar meson systems, Phys. Rev. D 92, 016008 (2015).
6. Particle Data Group, M. Tanabashi et al., Review of particle physics, Phys. Rev. D98 (2018) 030001.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ВЫБОРУ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Ефремов В.В.¹, Субботин С.А.^{1,2}

*¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва*

*² Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
г. Москва*

+7(925)789-35-70, VVEfremov@mephi.ru

Десятилетия исследования повреждаемости конструкционных материалов ядерных энергетических установок пока не привели к четкому и согласованному пониманию механизмов значительного числа явлений и процессов, возникающих в металлах и сплавах под воздействием высокоэнергетического нейтронного облучения [1]. Получение конструкционных материалов (КМ), стойких к радиационному воздействию, требует весьма значительных финансовых и временных затрат.

К современным энергетическим реакторам предъявляются очень жесткие требования по экономическим показателям, в связи с чем необходимо заранее при выборе конструкционных материалов предусматривать изменение их состава под облучением [2]. Это необходимо как для оценки стоимости обращения с облученными конструкционными материалами, так и для оценки возможности рецикла конструкционных материалов в будущем.

При переходе к развитию ядерной энергетики как системы, в условиях ресурсных ограничений, которые могут привести к пересмотру требований к конструкционным материалам ТВС и твэлов реакторов на быстрых нейтронах, увеличение глубины выгорания топлива, актуальное при условии высокой стоимости изготовления свежего топлива и большой стоимости обращения с облученным топливом при неограниченных ресурсах урана, ведет к увеличению дозы облучения КМ до величин, при которых невозможно надежно использовать прежние теории прогнозирования изменения свойств КМ под облучением. Это, в свою очередь, требует разработки радиационно-стойких КМ. Но

критическое отношение различных авторов к различным теориям [3], самокритичность авторов использующих имеющиеся теории, неопределенность зависимости экспериментальных данных от многих параметров облучения, говорят о неадекватности используемых теорий в современной практике использования КМ при увеличенных дозах облучения. И поиск приемлемых КМ для обеспечения глубоких выгораний ядерного топлива может или потребовать долгих экспериментальных проверок, или вообще может не дать положительного решения.

В работе на основе теоретических моделей рассматриваются вопросы поиска конструкционных материалов для реакторов на быстрых нейтронах, которые позволят в рамках уже имеющихся теорий предложить материалы оболочек твэлов и твс для перспективных реакторов на быстрых нейтронах в двухкомпонентной системе ядерной энергетики.

Литература

1. Ю. Н. Девятко, А. А. Плясов, О. В. Хомяков , Первичные процессы при нейтронном облучении конструкционных материалов // ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА И ИНЖИНИРИНГ, 2014, том 5, № 7–8, с. 606–621;
2. S.A. Subbotin, V.V. Efremov and V.Yu. Blandinsky , The possibility of reducing the requirements for radiation resistance of constructional materials in the nuclear power system // Journal of Physics: Conference Series, 2018 Vol. 1133, No. 1;
3. 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.

ПРЕДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ЗАХВАТА ПРОТОНОВ В РАДИАЦИОННОМ ПОЯСЕ ЗЕМЛИ

Жараспаев Т.Р.

НИЯУ МИФИ, Москва

+7(906)761-21-59, TRZharaspaev@mephi.ru

Изучение потоков захваченных протонов имеет высокую практическую ценность для определения радиационной обстановки на низкий и средних спутниковых орбитах, где энергичные протоны могут приводить к различным нежелательным эффектам и сбоям.

На данный момент, существуют только теоретические модели, показывающие предельные энергии захвата энергичных протонов на разных L-оболочках [1]. Однако, отсутствуют экспериментальные данные о протонах высоких энергий больше 1 ГэВ.

Спутниковый эксперимент ПАМЕЛА[2] запущенный в 2006 году на борту космического аппарата Ресурс-ДК1 проводил измерения высокоэнергичных протонов на низких околоземных орбитах до начала 2016 года. В ходе эксперимента были накоплены обширные данные о потоках протонов в околоземном космическом пространстве. Научное прибор ПАМЕЛА состоял из время-пролетной системы, магнитного спектрометра, системы антисовпадений, электромагнитного калориметра, сцинтиллятора и нейтронного детектора, набор этих детекторов позволил на протяжении долгого времени производить регистрацию потоков частиц разной природы (ГКЛ, магнитосферных частиц, включая радиационный пояс), производить идентификацию частиц (протонов, электронов, анти-протонов, позитронов) высокоэнергичных протонов в зависимости от цикла солнечной активности. Полученные данные позволили измерить предельные энергии захвата протонов в радиационном поясе в разные фазы солнечной активности.

В данной работе представлена методика отбора частиц в радиационном поясе и результаты анализа полученных данных для определения предельной энергии захвата протонов во внутреннем

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

радиационном поясе Земли. Результаты измерений показали, что максимальная энергия захвата протонов на L оболочках 1.16-1.22 в период минимума (2009 г.) и максимума (2014 г.) солнечной активности составила ~ 2 ГэВ.

Литература

1. R. S. Selesnick, M. D. Looper, and R. A. Mewaldt. A theoretical model of the inner proton radiation belt. Space Weather. VOL. 5, S04003 (2007). doi:10.1029/2006SW000275.
2. A. M. Galper, et al. The PAMELA experiment: a decade of Cosmic Ray Physics in space. Journal of Physics: Conference Series. VOL. 798, 012033 (2017). doi:10.1088/1742-6596/798/1/012033

**ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ
КОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ
АНТИНЕЙТРИНО НА ЯДРАХ КСЕНОНА НА
КАЛИНИНСКОЙ АЭС**

Кдиб Д.Э. от имени коллаборации РЭД-100

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Каширское шоссе, д.31, Москва 115409 Россия

Тел: +79654386796 ; E-mail : djameleng@gmail.com

Нейтринный детектор нового поколения РЭД-100 создан в НИЯУ МИФИ для регистрации электронных нейтрино от энергетического ядерного реактора с помощью открытого в 2017 году процесса когерентного рассеяния нейтрино относительно низких энергий на тяжёлых атомных ядрах [1]. Сечение такого процесса в несколько сотен раз превосходит сечение используемого в настоящее время для регистрации нейтрино процесса обратного бета-распада. Это открывает возможность создания относительно компактных и мобильных нейтринных детекторов для независимого мониторинга активной зоны ядерных реакторов с целью повышения безопасности и поддержания международных программ нераспространения ядерного оружия [2].

В настоящее время с детектором РЭД-100 проводятся наладочные работы в лаборатории экспериментальной ядерной физики НИЯУ МИФИ. В 2018 году был произведён физический пуск детектора. В марте-апреле 2018 года была достигнута необходимая для полномасштабного функционирования детектора, содержащего 200 кг жидкого ксенона, степень очистки жидкого ксенона: время жизни квазисвободных электронов до захвата электроотрицательными примесями ~0.5 мсек.

В январе-феврале 2019 года проводятся испытания электронного затвора для фильтрации сигналов от космических мюонов, что позволит эксплуатировать детектор в условиях наземной лаборатории и при этом регистрировать полезные события от реакторных нейтрино, состоящие из нескольких электронов ионизации.

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

Результаты этих испытаний будут доложены на конференции.

Литература

1. D.Akimov et al. Observation of coherent elastic neutrino-nucleus scattering, *Science* 15 Sep 2017: Vol. 357, Issue 6356, pp. 1123-1126
DOI: 10.1126/science.aao0990
2. Акимов, Д. Ю. Двухфазный эмиссионный детектор РЭД-100 // Приборы и техника эксперимента – 2017. – № 2. – С. 22–28.

МЕТОДОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СУММАРНОГО e^-e^+ СПЕКТРА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В ПРИБОРЕ ПАМЕЛА

Клейменова С.О., Михайлов В.В.

*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 ~ 100 МэВ до ~ 1 ТэВ. Измерения проводились 10 лет, с Июня 2006 г. по Январь 2016 г. Прибор был снабжен магнитным спектрометром, тремя группами сцинтилляторов составляющих времяпролетную систему, электромагнитным стриповым калориметром ($16 X_0$), системой антисовпадений и нейтронным детектором.

Эффективность магнитного спектрометра снижалась во время работы прибора, в то время как стриповый калориметр [1] работал стабильно. Таким образом, для увеличения статистики электронов и позитронов высоких энергий (> 100 ГэВ) нужно уточнить критерии отбора, позволяющие проводить идентификацию частиц.

Для определения критериев выделения электронов и позитронов высоких энергий из протонного шума использовались данные моделирования. Методом Монте-Карло [1] были промоделированы моноэнергетические пучки протонов и электронов в диапазоне энергий от 40 до 2000 ГэВ. Продольные профили ливней в калориметре фитировались функцией, которая предложена в работе [2].

Электроны идентифицировались по энерговыделению в первых слоях калориметра, по параметрам фитирования и поперечному размеру ливня. Данные по энерговыделениям в детекторах ВПС и трекера использовались для определения величины заряда. Энергия частиц определялась интегрированием функции профиля ливня. На треки в магнитной системе наложены минимальные требования,

чтобы исключить заведомо неправильные события, провзаимодействовавшие частицы и ядра.

Ниже на рисунке 1 представлен предварительный восстановленный спектр до 1 ТэВ (красные квадратные точки) в сравнении со спектрами, полученными в других экспериментах [3].

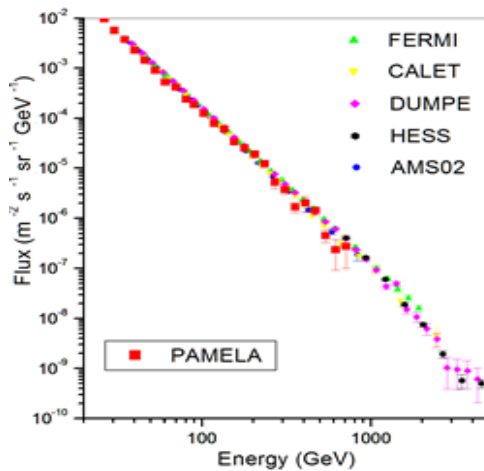


Рис.1. Зависимости потока (e^-+e^+) от энергии полученные в разных экспериментах

Литература

1. O. Adriani et al. The PAMELA Mission: Heralding a new era in precision cosmic ray physics. Physics Report. Vol.544. Issue 4. P.323-370 (2014).
2. V. Plyaskin. Energy measurement in the TeV region with a “thin” sampling calorimeter. Nuclear Instruments and Methods A. V.539. Issue 1. P146. (2007)
3. <https://tools.ssdc.asi.it/CosmicRays/>

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ И НЕЙТРОННОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКРЫТИЯ МИКРОТОПЛИВА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Кнышев В.В., Алексеев Н.В., Зорькин А.И., Беденко С.В.

*Томский политехнический университет, г. Томск
конт. Тел: 8-952-161-99-97., e-mail: vvk28@tpu.ru*

В работе [1] представлена конструкция и результаты исследований физики высокотемпературной газоохлаждаемой ториевой реакторной установки малой мощности, работающей в режиме длительной эксплуатации. По результатам исследования [2] определено оптимальное содержание дисперсной фазы в топливном элементе, которая составляет 17 %. При таком содержании дисперсной фазы, кампания топлива составляет более 7 лет работы без подпитки и перегрузки активной зоны, а выгорание Pu^{239} составило 92%.

При таком режиме работы тепловая и нейтронная нагрузка на покрытия микротоплива может достигнуть критических значений и привести к образованию сквозных трещин. Следовательно, необходимо учитывать распределение температуры в микротопливе при длительной эксплуатации, изменение теплофизических свойств покрытий под действием нейтронного излучения и диффузии продуктов деления.

Для оптимального содержания дисперсной фазы в топливном элементе проведен расчет термомеханического напряжения при длительном стационарном режиме работы и температуре газового теплоносителя 1273 °К.

Литература

1. I.V. Shamanin, V.M. Grachev, Y.B. Chertkov, S.V. Bedenko, O. Mendoza, V.V. Knyshev Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel. Annals of Nuclear Energy. Vol. 113. P. 286-293. (2018).
2. С. В. Беденко, В. В. Кнышев, М. Е. Кузнецова, И. В. Шаманин Особенности формирования остаточного излучения дисперсионного микрокапсулированного ядерного топлива // Известия вузов. Ядерная энергетика. Т. 2018. №. 3. С. 75-87. (2018).

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГЕТЕРОГЕННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Кузнецова М. Е., Алексеев Н.В., Беденко С.В.

НИИ Томский политехнический университет, Томск

89833486145, mek4@tpu.ru

Безопасность АЭС в первую очередь основывается на надежной работе элементов активной зоны (ТВС, ТВЭЛ) как при нормальной эксплуатации, так и в аварийных режимах [1].

Большинство явлений, происходящих с ядерным топливом при эксплуатации (распухание, радиационное охрупчивание и др.) зависят не только от длительности нахождения ядерного топлива под облучением, но и от температуры, распределение которой по сечению таблетки можно оценить расчетными методами.

Методы расчета коэффициентов теплопроводности гомогенного топлива известны и дают надежный результат даже для сверхвысоких глубин выгорания. Одним из кандидатов топлива нового поколения является гетерогенное топливо, включающее в себя материалы (ядерное топливо) с низкой и высокой (матрица) теплопроводностью. Преимуществом такого топлива является высокая радиационная стойкость и теплопроводность. Гетерогенная структура топлива и высокие температуры эксплуатации дисперсионного топлива (в работе [2] авторами предложена концепция высокотемпературного реактора) усложняют процедуру расчета теплопроводности.

В работе выполнена расчетная оценка теплопроводности и распределение температур по высоте и радиусу топлива с гетерогенными включениями размером, не превышающим ~600 мкм. Исследования проведены для топлива высокотемпературного газоохлаждаемого ториевого реактора [2], с полной загрузкой активной зоны, при длительной эксплуатации в стационарных и циклически-изменяющихся нестационарных режимах работы.

Литература

1. П.Н. Алексеев, А.В. Дьяков, А.С. Колокол, А.А. Прошкин, А.Л. Шимкевич, Улучшение эксплуатационных характеристик оксидного топлива для ВВЭР, 102 Т, № 2 (Атомная энергия, 2007г).
2. Shamanin I.V., Grachev V.M., Chertkov Y.B., Bedenko S.V., Mendoza O., Knyshov V.V. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel V. 113 (Annals of Nuclear Energy. 2018).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ АНАЛИЗА ДАННЫХ СИСТЕМЫ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ

Кузнецова М.Е.¹, Веселов М.С.², Луцик И.О.¹, Беденко С.В.¹

¹ТПУ, Томск,

*²ОАО «РостовАтомтехэнерго», Волгоградск
8983-348-61-45, mek4@tpu.ru*

Ядерный реактор как объект управления, является неустойчивым элементом системы, в котором самопроизвольно происходят колебания мощности в стационарных и нестационарных режимах эксплуатации. Безопасность и экономичность использования реактора в энергетическом диапазоне производится системой внутриреакторного контроля (СВРК) по средствам сбора, обработки и предъявления информации оператору о состоянии активной зоны и первого контура [1]. По полученной с помощью СВРК информации сотрудники участка физических и динамических испытаний производят анализ и составляют протокол пуско-наладочных работ на оборудовании.

Как правило, полученные в ходе проведения испытаний данные СВРК имеют большой объем и на их анализ приходится тратить большое количество времени. Для оптимизации работы по анализу данных СВРК была осуществлена разработка приложения, которое позволило значительно сократить затрачиваемое на работу время.

Для решения поставленной задачи выбран пакет Matlab, в котором разработан алгоритм и основная структура программы. Данная структура не является конечной и в процессе создания может расширяться. Алгоритмы, используемые для работы системы являются универсальными и могут быть применены к различным параметрам. На данный момент количество блоков и содержание алгоритмов является необходимым и достаточным для корректного функционирования системы в целом.

На втором этапе исследования создан основной М-файл с программой. Для организации диалога пользователя и программы разработан графический интерфейс. Интерфейс пользователя

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics
создавался с использованием Guide системы Matlab и включает в себя основное и дополнительные окна (Рисунок 1).

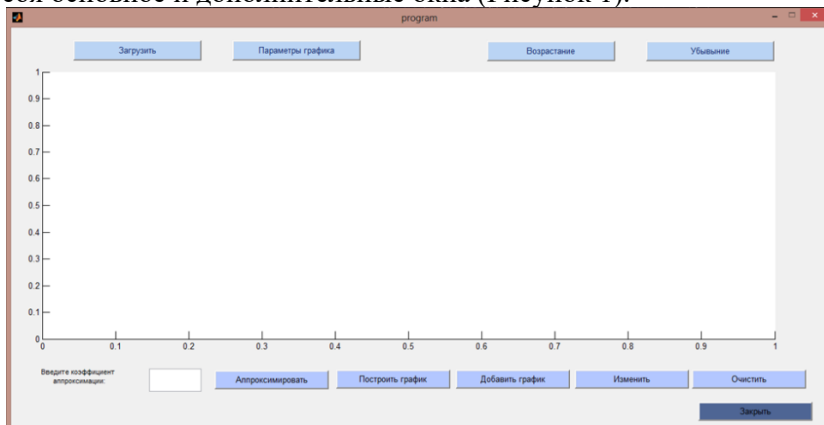


Рис.1. Основное окно программы

Окна имеют в своем составе кнопки, выпадающие меню, поля ввода вывода, таблицы и графики. Ввод исходных данных производится из файла Excel с формированием массива данных.

Приложение содержит меню изменяемых параметров графика, для удобного редактирования. Так же созданное приложение может исследовать график на возрастание/убывание, результатом чего является таблица со значениями, при которых функция возрастает/убывает и график, на котором выводятся точки возрастания/убывания функции.

Таким образом, разработанное приложение позволяет быстро и качественно производить анализ и обработку полученных в результате испытаний с СВРК данных.

Литература

1. Ю.В. Саунин, А.Н. Добротворский, А.В. Семенихин. Специализированное программное обеспечение для проведения комплексных испытаний системы внутриреакторного контроля реактора ВВЭР. (ОКБ «Гидропресс» 2009г)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ ПАРА ПРИ ФОТОТЕРМИЧЕСКОМ НАГРЕВЕ НАНОЖИДКОСТИ

**Кузьменков Д.М.¹, Зейналян К.С.¹, Стручалин П.Г.¹,
Шорников Д.П.¹, Куценко К.В.¹, Балакин Б.В.^{1, 2}**

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

² *Western Norway University of Applied Sciences, Bergen
+7 (963) 619-97-60, DMKuzmenkov@mephi.ru*

Наножидкости – жидкости со взвешенными наноразмерными частицами. Сочетание сильных поглощающих оптических свойств наночастиц и транспортных свойств несущей среды позволяют использовать наножидкости в солнечных энергетических установках с прямым образованием пара. Для обеспечения высокой эффективности таких установок необходимо определить оптимальный состав наножидкости, в частности концентрацию частиц.

В настоящей работе представлены результаты расчетного исследования по определению оптимальной концентрации частиц при кипении наножидкости под действием светового излучения. Критерием оптимума является достижение максимального расхода пара.

Разработана модель оценки расхода пара, основанная на расчете характерного времени роста парового пузыря, образованного на нагретом агломерате частиц. Расчет времени роста осуществляется путем соотнесения подводимой мощности и энергии [1], требуемой для роста парового пузыря до размеров зоны светопоглощения, в которой поглощается основная часть подводимой энергии.

Для проверки разработанной модели проведено экспериментальное исследование по кипению графитовой наножидкости в замкнутом контуре циркуляции. К рабочему объему с наножидкостью подводилось излучение от трех галогеновых ламп, имитирующих солнечное излучение. Расход рабочего тела в контуре циркуляции определялся путем взвешивания конденсата, отбираемого в течение фиксированного времени. На рисунке 1 представлено сравнение экспериментальных данных с результатами

расчета по модели. Видно, что представленная модель хорошо описывает качественный характер зависимости расхода пара от концентрации наночастиц, значения расчетного и экспериментального максимума довольно близки и составляют 1%

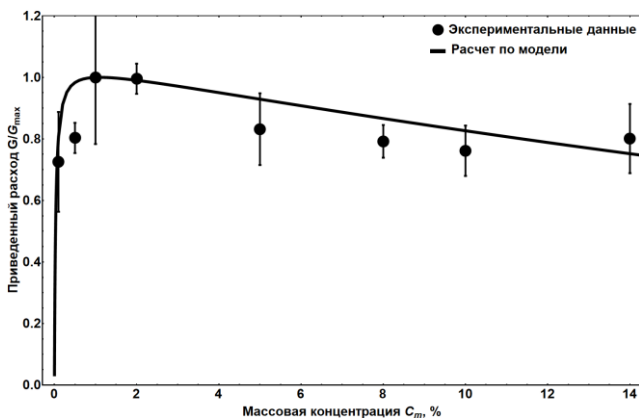


Рис. 1. Зависимость приведенного расхода от концентрации частиц

Однако разработанная модель не позволяет проводить оценку абсолютных значений расходов пара и требует дальнейшего совершенствования путем учета движения и взаимодействия растущих паровых пузырей в наножидкости.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-10481).

Литература

1. M. Dietzel and D. Poulikakis. On vapor bubble formation around heated nanoparticles in liquids. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 50. P. 2246-2259 (2007).

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ПОГЛОЩЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ГРАФИТОВОЙ НАНОЖИДКОСТИ

Кузьменков Д.М.¹, Куценко К.В.¹, Балакин Б.В.^{1,2}

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва

² Western Norway University of Applied Sciences, Bergen, Norway
+7 (963) 619-97-60, DMKuzmenkov@mephi.ru

В настоящее время особое внимание уделяется вопросу применению наножидкостей (жидкостей с диспергированными в них наночастицами) в солнечной энергетике. Известно, что внедрение наночастиц в жидкость позволяет существенно улучшить её теплофизические, транспортные и оптические свойства. При создании солнечных энергетических установок с использованием наножидкостей в качестве поглотителя солнечной энергии и рабочего тела, важно определить оптимальные параметры наножидкости (концентрацию, средний размер наночастиц и т.д.).

В настоящей работе представлена модель поглощения солнечной энергии в наножидкости, позволяющая определить пространственное распределение поглощенной солнечной энергии в жидкости в зависимости от размера наночастиц и их концентрации. По заданному спектру солнечного излучения (рисунок 1) и оптическим свойствам конкретной наножидкости рассчитывается плотность теплового потока q .

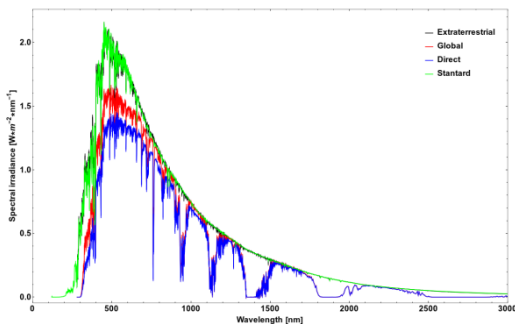


Рис. 1. Спектр
солнечного излучения

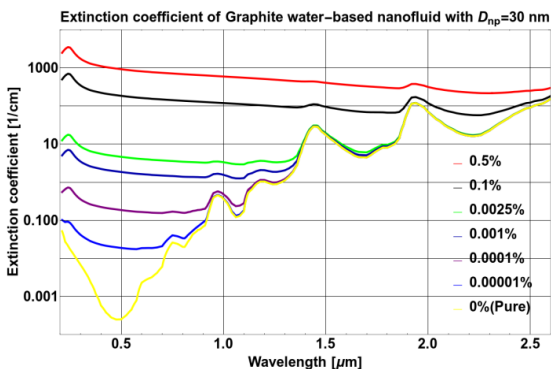
Разработанная модель основана на теории рассеяния и поглощения электромагнитного излучения малыми сферическими частицами [1]. При этом свойства наножидкости определяются по оптическим свойствам материала наночастиц и несущей жидкости.

Плотность теплового потока в наножидкости в зависимость от расстояния x до входа в объем может быть определена по формуле:

$$q(x, d, C) = \sum_{i=1}^n (\lambda_{i+1} - \lambda_i) \cdot I(\lambda_i) \cdot e^{-\sigma(\lambda_i, d, C) \cdot x} \quad (1)$$

где $I(\lambda)$ – интенсивность излучения, d – диаметр наночастиц, C – объемная концентрация наночастиц, λ – длина волны излучения, $\sigma(\lambda, d, C)$ – коэффициент экстинкции наножидкости, характеризующий оптическую плотность наножидкости. Зависимость коэффициента экстинкции графитовой наножидкости от длины волны при различных концентрациях наночастиц представлена на рисунке 2.

Рис. 2.
Зависимость
коэффициента
экстинкции
графитовой
наножидкости от
длины волны



Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-10481).

Литература

1. R.A. Taylor, P.E. Phelan, T.P. Otanicar, R. Adrian and R. Prasher. Nanofluid optical property characterization: towards efficient direct absorption solar collector. Nanoscale Research Letters. Vol. 6. P. 225 (2011).

**СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТА NA62 (CERN).
АНАЛИЗ РАСПАДА КАОНА $K^+ \rightarrow l^+ N$**

Курочка В.Л.

ИЯИ РАН, Москва

89067663702, likhacheva@inr.ru

Обнаруженные осцилляции нейтрино свидетельствуют о том, что Стандартная Модель (СМ) элементарных частиц не является полной. Но до сих пор неизвестны свойства частиц, которые скрываются за этим явлением. Предложено много расширений СМ, включающих массивные стерильные нейтрино, называемые тяжелыми нейтральными лептонами, которые смешиваются с активными нейтрино.

Например, в Нейтринной Минимальной Стандартной Модели (ν 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 позволят объяснить ненулевую массу активных нейтрино и барионную асимметрию Вселенной.

Смешивание активных и стерильных нейтрино приводит к образованию тяжелых нейтральных лептонов N в распадах мезонов, включая распад $K^+ \rightarrow l^+ N$ ($l = e^+, \mu^+$), изучение которого осуществляется в эксперименте NA62 (CERN) при измерении распадов на один заряженный лептон (мюон или электрон) положительных каонов с импульсом 75 ГэВ/с на лету.

Основная идея анализа заключается в поиске пика в спектре missing mass. Для этого разработан критерий отбора событий $K^+ \rightarrow e^+ \nu \nu$ и проанализированы основные источники фона, которые будут представлены в докладе. Сканирование массы производилось в диапазоне масс 170 - 450 МэВ. Получены ограничения на уровне 10^{-7} на параметры смешивания стерильных нейтрино $|U_{e4}|$. В ходе доклада будут предложены дальнейшие планы по поиску стерильных нейтрино в эксперименте NA62.

Литература

1. A. Boyarsky, O. Ruchayskiy and M. Shaposhnikov. The role of sterile neutrinos in cosmology and astrophysics. Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 59 (2009) 191, arXiv:0901.0011 [hep-ph]. ¹_{SEP}
2. E. Cortina Gil et al. (The NA62 Collaboration), Search for heavy neutral lepton production in K^+ decays, arXiv:1712.00297v1 [hep-ex].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОМ КОНТУРЕ

***Лауар С.¹, Мукич С.А.¹, Сакиб М.Н.¹, Марченко А.С.¹,
Балакин Б.В.^{1,2}, Куценко К.В.¹***

*¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

*² Western Norway University of Applied Sciences, Bergen, Norway
+7(926)321-19-23, s.laouar@yandex.ru*

Цифровые двойники промышленных объектов начинают активно использоваться для оптимизации и повышения эффективности рабочих процессов. В целях совершенствования технологии использования цифровых двойников в НИЯУ МИФИ ведется работа по созданию цифрового прототипа теплогидравлического стенда. Отличительной особенностью создаваемой системы является возможность прогнозирования изменения параметров стенда при помощи нейросетевых технологий.

Использование нейросетевых моделей всегда требует статистически большого объема данных для создания алгоритмов прогнозирования изменения параметров. Поэтому, помимо проведения длительных экспериментальных серий, целесообразно использовать данные, полученные в результате численного моделирования тепловых и гидродинамических процессов в контуре циркуляции стенда. Использование расчетных моделей также может дать сведения о физических параметрах на тех участках стенда, где отсутствует возможность прямого измерения параметров.

Данная работа посвящена численному моделированию физических процессов в контуре вынужденной циркуляции, а также получению массива экспериментальных данных для последующей проверки и уточнения разработанной численной модели.

Для описания течения жидкости использовались уравнения Навье-Стокса с применением к-ε модели турбулентности. Для учета подвода тепла от нагревателей задавалась мощность источников тепловыделения. Отвод тепла к окружающей среде задавался при

условиях: фиксированной температуры стенки теплоотдающей поверхности в теплообменнике, а также наличия конвективного теплообмена с поверхности трубопроводов. Численный расчет проводился при помощи пакета STAR-CCM+. Типичные результаты численного расчета показаны на рисунке 1.

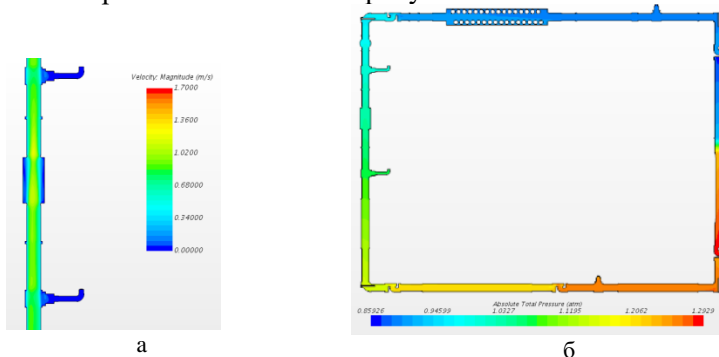


Рис.1. Результаты численного расчета: а – распределение скоростей в подъемном участке контура, б – распределение давления в контуре циркуляции.

Экспериментальное исследование проводилось при различных расходах теплоносителя в контуре в интервале от 0 до 6 м³/час. В экспериментах также варьировались подводимая к контуру циркуляции тепловая мощность (от 500 до 8000 Вт) и условия отвода тепла к контуру охлаждения. В результате каждой серии проведенных экспериментов определялись значения расхода теплоносителя, а также давление и температура в характерных точках.

Проведено сравнение полученных экспериментальных данных с расчетными параметрами, полученные результаты имеют расхождение до 10%. В дальнейшем необходимо уточнение расчетной модели, в том числе учет возможности локального закипания теплоносителя на нагревателях.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОМ КОНТУРЕ

**Лауар С., Сакиб М.Н., Мукут С.А., Марченко А.С., Делов М.И.,
Куценко К.В.**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва
+7(926)321-19-23, s.laouar@yandex.ru*

В Институте ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ создан двухконтурный теплогидравлический стенд для проведения комплексных исследований теплообмена в зависимости от режимных параметров и создания экспериментальной базы данных тестовых задач для верификации расчетных теплогидравлических кодов. Проведение экспериментальных исследований возможно как в режиме естественной циркуляции жидкости, так и при вынужденном течении теплоносителя.

Данная работа посвящена изучению влияния режимных параметров стенда (подводимой и отводимой тепловой мощности, температуры теплоносителя, наличия кипения на поверхности нагревателя и т.д.) на расход теплоносителя в контуре естественной циркуляции. Обнаружено, что в случае достижения на поверхности нагревателей развитого пузырькового кипения, в результате схлопывания пузырьков пара в более холодном потоке жидкости давление теплоносителя в различных точках контура циркуляции испытывает существенные флуктуации.

На рисунках 1 и 2 показаны типичные экспериментальные временные зависимости роста температур в характерных участках контура и расхода теплоносителя. Расположение датчиков температур T_1 , T_2 и T_3 показано на рисунке 3, расход теплоносителя определялся путем осреднения показаний расходомеров G_1 и G_2 . Линиями на графиках показаны результаты расчета параметров по упрощенной инженерной методике, основанной на достижении равенства гидравлических потерь давления с движущим напором, обусловленным разностью плотностей теплоносителя на различных участках контура естественной циркуляции.

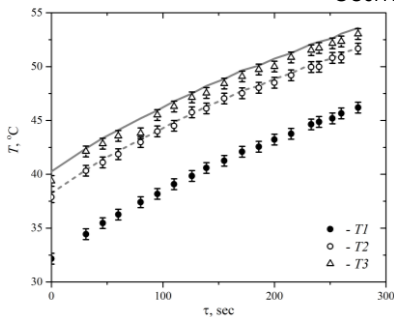


Рис.1. График изменения температур: точки - экспериментальные данные, линии – расчет

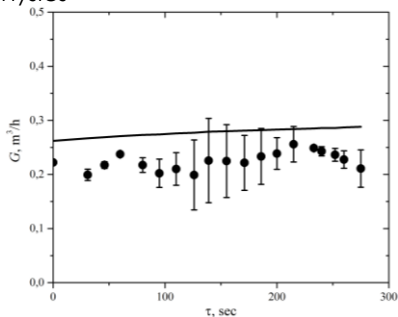


Рис.2. График изменения расхода теплоносителя: точки - экспериментальные данные, линии – расчет

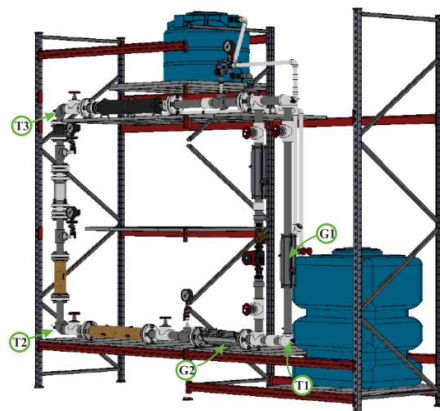


Рис.3. Модель теплогидравлического стенда с обозначением расположения датчиков давления и температуры

В результате проведенных исследований сформирован банк тестовых задач для последующей верификации и уточнения создаваемых расчетных CFD-моделей теплогидравлического стенда.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИГГЕРА ЯДРО - ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА BM@N С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ПРОГРАММ GEANT4 + QGSM

Лашманов Н.А., Юревич В.И., Седых С.А., Лобастов С.П.,
Рогов В.Ю., Богословский Д.Н., Сергеев С.В., Тихомиров В.В.,
Тимошенко А.А.

*Объединенный институт ядерных исследований
Россия, 141980, Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, 6
e-mail, lashmanov@jinr.ru.*

На основе моделирования в среде GEANT4 [1] + QGSM исследуется эффективность быстрого триггера [2] взаимодействия эксперимента BM@N [3] с помощью детекторов мишенной зоны (Barrel detector и Si detector) на примере $\text{Ar} + \text{Cu}$ и $\text{Au} + \text{Au}$ столкновений с энергией пучка 4 ГэВ на нуклон. Оценен вклад фона от дельта-электронов в отклики детекторов и изучены способы его минимизации.

Показано, что наибольшая нагрузка дельта-электронами приходится на правую половину детекторов (BD, SiD) ввиду отклонения электронов в сильном магнитном поле установки BM@N. Изучена корреляция откликов детекторов и их зависимость от прицельного параметра столкновений. Выработаны рекомендации для модернизации триггера взаимодействия. Работа выполнена в рамках работ по развитию триггерной системы для будущих сеансов на установке BM@N.

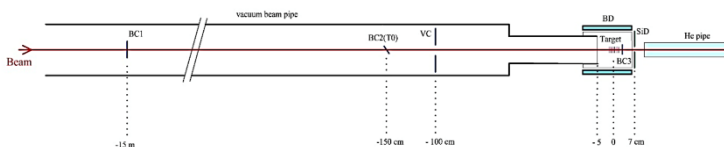


Рис.1. Экспериментальная схема расположения триггерных детекторов.

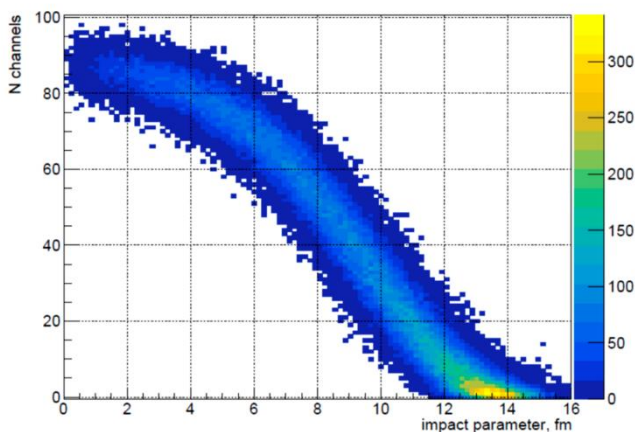


Рис.2. Зависимость числа сработавших каналов (BD + SiD) от прицельного параметра столкновения (Au + Au)

Литература

1. <https://geant4.web.cern.ch/>
2. Yurevich V. I., Batenkov O. I. et al. Beam Tests of Cherenkov Detector Modules with Picosecond Time Resolution for Start and L0 Trigger Detectors of MPD and BM@N Experiments, Phys. Part. Nucl. Lett., 2015, Vol. 12, No. 6, pp. 778.
3. BM@N Conceptual Design Report.
http://nica.jinr.ru/files/BM@N/BMN_CDR.pdf

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙТРОННОГО РЕЗОНАНСНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ФИБУЛЫ (10 ВЕК Н.Э)

**Мажсен С.Т.^{1,2}, Борзаков С.Б.¹, Ергашов А.М.^{1,2}, Мареев Ю.Д.¹,
Седышев П.В.¹, Симбирцева Н.В.^{1,2}, Сапрыкина И.А.³**

¹ *Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка,
ОИЯИ*

² *Институт ядерной физики, г. Алматы, 050032,
Республика Казахстан*

³ *Институт археологии РАН
конт. тел. +7(999)9816823, e-mail: saltanat5.06.95@mail.ru*

Анализа по нейтронным резонансам радиационного захвата (Neutron Resonance Capture Analysis – NRCA) в настоящее время развивается в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка для определения элементного состава образцов [1]. Метод основан на использовании импульсного источника нейтронов и техники времени пролета (Time of flight, TOF). В качестве источника нейтронов используется импульсный источник резонансных нейтронов ИРЕН, а для регистрации мгновенных γ -лучей используется многосекционный жидкостный сцинтилляционный детектор (210 л) созданный в ЛНФ ОИЯИ [2].

К настоящему времени параметры низлежащих резонансов [3] определены практически для всех стабильных изотопов. Кроме этого, ни для одной пары ядер не совпадают параметры и энергия данного резонанса. Следовательно, по измеренному энергетическому положению пика резонансов, можно определить элементный и изотопный состав образца. А также, зная площади под резонансами, можно вычислить количество ядер данного элемента или изотопа.

Такой анализ был проведен для материала, переданного Институтом археологии РАН. Предоставленный образец – фибула (рис.1) был найден при раскопках в Подболотьевском могильнике во Владимирской области в числе ювелирных изделий, относящиеся к 10 веку н.э. Сам археологический погребальный памятник был обнаружен в конце 20-го века. В течение 3 лет раскопок эксперты

нашли около 7000 артефактов – от ювелирных изделий до оружия. Это сотня могил финно-угорского племени мурома, жившего ниже реки Ока с X века и занимавшегося охотой, ремеслами и сельским хозяйством. В течение последних трех лет ученые изучили 181 могилу и еще 20 изучаются в настоящее время. Элементный и изотопный состав фибулы может быть интересен для идентификации территории, на которой был изготовлен археологический объект.



Рис. 1. Внешний вид фибулы

Литература

1. N. V. Bazhazhina, Yu. D. Mareev, L. B. Pikelner, P. V. Sedyshev, V. N. Shvetsov. Analysis of element and isotope composition of samples by neutron spectroscopy at the IREN facility // Physics of Particles and Nuclei Letters. 12. 2015. P. 578–583.
2. Малэцки Х., Пикельнер Л. Б., Родионов К. Г., Саламатин И. М., Шарапов Э. И. Детектор нейтронов и гамма-лучей для работ в области нейтронной спектроскопии // Сообщение ОИЯИ. 13-6609. Дубна, 1972.
3. S. F. Mughabghab. Neutron Gross Sections, Neutron Resonance Parameters and Thermal Gross Sections // Academic Press, New York, 1984.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ 1S-2S В МЮОННОМ ВОДОРОДЕ И ИОНАХ МЮОННОГО ГЕЛИЯ

***Мартыненко Ф.А.¹, Сухорукова О.С.¹, Дорохов А.Е.²,
Мартыненко А.П.¹, Фаустов Р.Н.³***

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

³ Вычислительный центр РАН, Москва
+79376540996, f.a.martynenko@gmail.com

Проведенные в последние годы исследования лэмбовского сдвига и сверхтонкой структуры спектра мюонного водорода и гелия открыли новый этап в прецизионном изучении спектров энергии простейших атомов. Эксперименты, выполненные коллаборацией CREMA (Charge Radius Experiments with Muonic Atoms) [1-3] позволили осуществить дополнительную проверку Стандартной модели, получить более точные значения ряда фундаментальных параметров и поставить вопрос о присутствии экзотических взаимодействий между частицами в связанном состоянии. Расширение исследований коллаборацией CREMA связано как с новыми мюонными атомами, так и с новыми энергетическими интервалами.

В данной работе выполнены исследования интервала большой тонкой структуры (1S-2S) в мюонном водороде и ионах мюонного гелия-3,4. Вычислены поправки пятого и шестого порядка по постоянной тонкой структуры, которые дают численные значения в этом интервале до 0.0001 мэВ. Для проведения такого численного расчета был построен гамильтониан взаимодействия мюона и ядра в рамках нерелятивистской квантовой электродинамики с учетом поправок, имеющих различную структуру [4-6]. Вычислены поправки на поляризацию вакуума, которые дают сдвиги S-уровней. При этом учтены эффекты однопетлевой, двухпетлевой и трехпетлевой поляризации вакуума в однофотонном взаимодействии, двухфотонном взаимодействии в первом, втором и третьем порядках теории возмущений. Вычислены комбинированные вклады за счет модификации релятивистских

членов гамильтониана Брейта эффектами поляризации вакуума, которые дают поправки шестого порядка в спектре энергии. Получены аналитические и численные значения поправок на структуру ядра порядка α^5 и α^6 из двухфотонных обменных амплитуд, однофотонного взаимодействия и второго порядка теории возмущений. Исследование зависимости численных результатов от параметризаций формфакторов позволило получить возможную оценку погрешности расчета поправок на структуру ядра. Получены поправки адронной поляризации вакуума и поляризуемости ядра для достижения высокой точности расчета. Получены полные численные значения сдвигов (1S-2S), которые можно использовать для сравнения с экспериментальными данными и анализа значений зарядовых радиусов ядер.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 18-12-00128) и РФФИ (грант 18-32-00023) (Ф.А.М. и О.С.С.)

Литература

1. A. Antognini [et al.]. Proton structure from the measurement of 2S-2P transition frequencies of muonic hydrogen. *Science*. Vol. 339. P.417-420 (2013).
2. R. Pohl [et al.] Laser spectroscopy of muonic deuterium, *Science* Vol. 353. P.669-673 (2016)
3. M. Diepold, B. Franke, J. J. Krauth, A. Antognini, F. Kottmann, R. Pohl, Theory of the Lamb Shift and fine structure in muonic 4He ions and the muonic 3He–4He Isotope Shift, *Ann. Phys.* Vol.396. P.220-244 (2018).
4. А.А. Крутов, А.П. Мартыненко, Г.А. Мартыненко, Р.Н. Фаустов. Теория лэмбовского сдвига в ионах мюонного гелия. *ЖЭТФ* Т.147. С. 85-104 (2015).
5. А.П. Мартыненко, Ф.А. Мартыненко, Р.Н. Фаустов, Теория сверхтонкой структуры S-состояний мюонного трития. *ЖЭТФ* Т.151. С. 1052-1065 (2017).
6. A.A. Krutov, A.P. Martynenko, F.A. Martynenko, and O.S. Sukhorukova, Lamb shift in muonic ions of lithium, beryllium, and boron, *Phys. Rev. A*. 94. P. 062505 (2016).

ПРОЕКТ ДЕТЕКТОРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ СВЕТОСОБИРАЮЩИХ ВОЛОКОН

**Меирауи С., Богданов Ф.А., Громушкин Д.М.,
Юрин К.О., Яшин И.И.**

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г.
Москва*

e-mail: saidou811@live.fr, dmgramushkin@mephi.ru

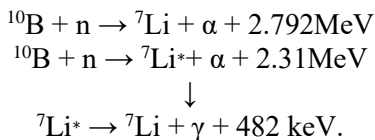
Разработка компактного и эффективного детектора для регистрации тепловых нейтронов является актуальной задачей. В работе представлен проект детектора тепловых нейтронов нового типа, основанного на применении современных методов регистрации: использование тонкого компаунда на основе сцинтиллятора ZnS и элементов с высоким сечением захвата тепловых нейтронов (${}^6\text{Li}$ или ${}^{10}\text{B}$), светосбор с помощью оптических волокон и т.д.

Отличительными особенностями разрабатываемого детектора являются: высокая степень подавления фона от одиночных заряженных частиц и потока гамма-квантов, использование двух ФЭУ для подавления шумов, высокая эффективность регистрации, возможность создания детекторов различных площадей и форм.

В разработанном прототипе для регистрации тепловых нейтронов используется неорганический сцинтиллятор ZnS с добавкой B_2O_3 . Содержание ${}^{10}\text{B}$ в B_2O_3 составляет 18% [1]. Этот компаунд имеет следующие характеристики:

- высокий световой выход при регистрации тяжелых частиц, образующихся при захвате нейтронов;
- достаточно высокая эффективность регистрации тепловых нейтронов из-за большого сечения захвата тепловых нейтронов ядрами ${}^{10}\text{B}$;
- низкая чувствительность к однозарядным частицам.

Регистрация тепловых нейтронов в сцинтилляторе $\text{ZnS (Ag)} + \text{B}_2\text{O}_3$ происходит за счет следующих реакций [2]:



Для транспортировки фотонов на фотоприемник используется спектросмещающее оптическое волокно (WLS fiber) Kuraray Y11-175 производства компании Kuraray, Япония [3]. В качестве фотоприёмника были выбраны ФЭУ 85 с резистивным делителем [4].

Структура разрабатываемого детектора тепловых нейтронов представлена на рисунке 1. Сцинтиллятор выполнен в виде сэндвича площадью 0.08 м^2 и толщиной 8 мм: сцинтиллятор $\text{ZnS (Ag)} + \text{B}_2\text{O}_3$, оптический компаунд с размещенным в нем оптическим волокном и еще один слой сцинтиллятора. Два ФЭУ располагаются с торцевых сторон оптического волокна.

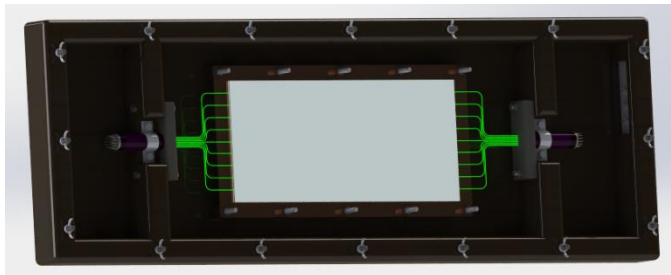


Рис. 1. Структура детектора тепловых нейтронов.

Литература

1. М.Н. Медведев. / Сцинтилляционные детекторы. М: Атомиздат, 1977.
2. D.M. Gromushkin / The array for investigations of EAS neutron component. EPJ Web of Conferences, Vol. 145, P19013 (2017).
3. <http://kuraraypsf.jp/>
4. <http://rudatasheet.ru/tubes/feu-85/>

РЕЖЕКЦИЯ ПРОТОНОВ В ЭЛЕКТРОННОМ КАНАЛЕ ГАММА-400

Михайлова А.В., Леонов А.А., Михайлов В.В., Хеймиц М.Д.

*НИЯУ МИФИ, Москва
89161119017, ann_mikhailova@mail.ru*

Эксперимент ГАММА 400 разрабатывается для изучения галактических и экстрагалактических гамма-источников, а также для прецизионных измерений спектров космических электронов, протонов и ядер [1].

Целью работы является расчёт коэффициента режекции протонов модифицированной конфигурации гамма-телескопа ГАММА-400. Модифицированная конфигурация ГАММА-400 состоит из сцинтилляционных детекторов антисовпадения, конвертера-трекера с 8 слоями двойных координатных кремниевых детекторов (х,у), чередующихся со слоями вольфрама, сцинтилляционных детекторов времяпролётной системы С1 и С2, калориметров КК1 (2Х₀) и КК2 (17Х₀), сцинтилляционных детекторов С3, С4. Калориметр КК2 содержит 22×22 столбиков из кристаллов CsI с поперечным 36×6мм² и продольным 292 мм размерами

Моделирование коэффициента режекции протонов и эффективности регистрации электронов в ГАММА-400 были проведены с помощью программного пакета GEANT4 (версия 4.10) [2,3]. Проведено моделирование для вертикальных пучков протонов и электронов с энергиями от 1 ГэВ до ~1 ТэВ, падающих в центр верхнего детектора АС. В качестве триггерного условия использованы сигналы со сцинтилляционных счётчиков С1×С2×С3.

Основой подавления фона протонов служит различие электромагнитного и ядерного каскадов в калориметрах прибора. Выбор порогов для критериев подавления протонов сделан таким образом, чтобы эффективность регистрации электронов была 98% для каждого из них.

Для подавления протонов использовались сигналы с калориметров КК1 и КК2, а также со сцинтилляционных детекторов

СЗ и С4. Для КК2 вычислялись полное энерговыведение и поперечный размер ливня.

Для примера на рисунке 1 показаны энерговыведения для протонов и электронов в детекторе С4 с энергией 50 ГэВ после отбора по триггерному сигналу с порогами ($C1, C2 > 0.6$ МэВ, $C3 > 32$ МэВ).

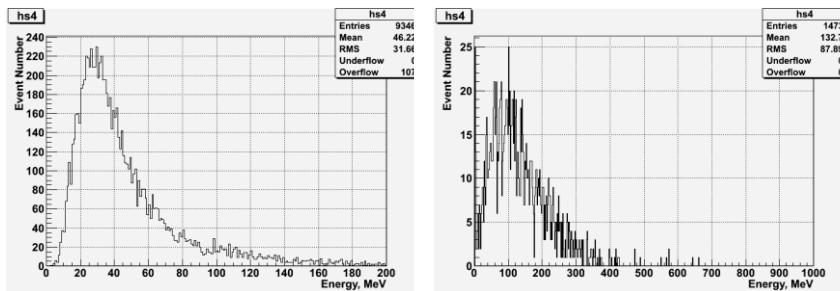


Рис.1 амплитудные распределения сигналов для протонов (справа) и электронов(слева) в детекторе С4 для энергии 50 ГэВ с учётом отбора по триггеру

Из сравнения рисунков видно, что данный критерий подавляет фон протонов в несколько раз, что связано с различием в затухании адронного и электромагнитного ливней в КК2.

Для вычисления суммарного коэффициента режекции на поверхности верхнего детектора антисовпадений моделировался степенной энергетический спектр протонов с показателем $-2,7$ выше заданной энергии. Для набранной к настоящему времени при моделировании статистике фактор режекции превышает 1000 при энергиях выше 50 ГэВ.

Использованная литература:

1. Galper, A.M., Adriani, O., Aptekar, R.L., et al., Status of the GAMMA-400 project. Adv. Space Res. Vol.51.P.297 (2013)
2. <http://geant4.cern.ch>
- 3 A.A. Leonov, A.M. Galper , V. Bonvicini et al. Separation of electrons and protons in the GAMMA-400 gamma-ray telescope Ad. Space.Res.Vol.56.P.1538. (2015)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРОВИНЦИИ МЕРСИН (ТУРЕЦКАЯ РЕСПУБЛИКА) ПЕРЕД ВВОДОМ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ АЭС АККУЮ

**Момот О.А., Мустафа Гюдер, Куприянов В.М., Сынзыныс Б.И.,
Удалова А.А., Самохин Д.С.**

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск
(484)397-94-90 (445), momotulya@gmail.com*

Первая в Турецкой Республике АЭС Аккую будет состоять из четырех блоков с реакторами ВВЭР-1200. Население Турецкой Республики не приветствует получение электроэнергии на АЭС на своей территории. В подобных случаях желательно проведение не только фоновых исследований естественного радиоактивности, но и оценка риска от действия естественных радиоактивных и химических веществ, содержащихся, в частности, в питьевой воде. Оценка радиационного и химического риска позволит сравнить и ранжировать степень опасности изучаемых факторов для здоровья населения

Цель работы — определение дозы облучения, оценка радиационного риска онкологических заболеваний и вычисление индекса опасности тяжелых металлов в питьевой воде для населения провинции Мерсин перед вводом в эксплуатацию АЭС Аккую и сравнение этих показателей с таковыми при выбросе радиоактивного йода во время эксплуатации АЭС.

Материалы и методы. Определение активности радионуклидов, обеспечивающих естественный радиационный фон, а также химический состав питьевой воды (Zn, Cu, Ba, Ni, Cr, Pb, Cd) в населенных пунктах провинции Мерсин было проведено специалистами чекмеджеского ядерного тренировочного центра в Стамбуле [1] и использовано нами в работе. Радиационный и химический риски, индекс опасности химических веществ для питьевой воды оценивали по формулам, приведенным в руководстве [2]. Сценарии выбросов радиоактивного йода при будущей эксплуатации АЭС Аккую с реактором ВВЭР-1200, оценку дозы облучения и оценку риска для населения провинции Мерсин проводили по методикам МАГАТЭ [3].

Результаты и выводы

1. Радиационная обстановка в провинции Мерсин характеризуется радионуклидами естественного радиационного фона: ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{222}Ra . Их присутствие в питьевой воде формирует эффективную индивидуальную дозу облучения $30 \cdot 10^{-6}$ Зв/год.

2. Радиационный риск, соответствующий этой дозе облучения, равен $2,4 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, что примерно в 20 раз меньше, чем приемлемый риск для населения по нормативам МАГАТЭ ($5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$).

3. Дозы внешнего облучения для населения составляют: от облака радиоактивного йода $2,23 \cdot 10^{-12}$ Зв/год (внешнее облучение), от его ингаляции (внутреннее облучение) – $1,08 \cdot 10^{-9}$ Зв/год.

4. Радиационный риск заболеваний щитовидной железы от ингаляции радиоактивного йода равен $6,05 \cdot 10^{-11} \text{ год}^{-1}$. Радиационный риск при облучении от облака с йодом $1,22 \cdot 10^{-13} \text{ год}^{-1}$. Суммарный риск при воздействии радиоактивного йода составляет $6,06 \cdot 10^{-11} \text{ год}^{-1}$. Это в 40000 раз меньше риска от облучения природными радионуклидами, присутствующими в питьевой воде.

5. Индекс опасности при воздействии химических веществ (Zn, Cu, Ba, Ni, Cr, Pb, Cd) при употреблении питьевой воды не превышает единицу, что говорит об их безопасности для населения.

Литература

1. Karahan G. et al. Environmental impact assessment of natural radioactivity and heavy metals in drinking water around Akkuyu Nuclear Power Plant in Mersin Province// Turkish J. Chemistry. V.42. P. 735-747 (2018).

2. Сынзыныс Б.И. и соавт. Техногенный риск и методология его оценки. Учеб. Пособие по курсу «Техногенные системы и экологический риск» (Обнинск: ИАТЭ. 2005).

3. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety report series, ISSN 1020-6450, No.19. (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001).

ДИАГНОСТИКА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ТЕПЛООТДАЧИ В НЕДОГРЕТОЙ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕНИЯ ВОДЕ

***Мурадян К.Ю., Навасардян М.В., Делов М.И., Кузьменков Д.М.,
Лаврухин А.А., Куценко К.В.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

+7(926)561-70-11, KarenYurik@mail.ru

Диагностика переходных режимов теплоотдачи является важной практической задачей при эксплуатации ядерных энергетических установок и прочего теплообменного оборудования.

Изучение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) флуктуаций температуры теплоотдающей поверхности тепловыделяющего элемента позволяет предсказывать наступление переходных процессов теплоотдачи. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования флуктуаций температуры при вынужденном течении недогретой до температуры насыщения воды при атмосферном давлении. Для каждой серии экспериментальных данных (показаны точками на рис. 1) строились АЧХ, которые затем аппроксимировались степенной функцией вида (1) и функцией Лоренца (2) в диапазонах низких (от 0.01 Гц до 1 Гц) и средних (от 0.01 Гц до 10 Гц) частот.

$$\Psi = \frac{C}{\nu^\alpha} \quad (1)$$

$$\Psi = C \frac{\beta}{\beta^2 - \nu^2} \quad (2)$$

Как видно из графиков, при конвективном режиме теплоотдачи (точки 1-9) спектр АЧХ на всех частотах соответствует спектру белого шума, а в переходной области кипения (9-20) - соответствует спектру Лоренца на средних частотах. При приближении к точке наступления кризиса кипения (24) спектр на низких частотах начинает соответствовать спектру фликкер-шума ($\alpha = 1$).

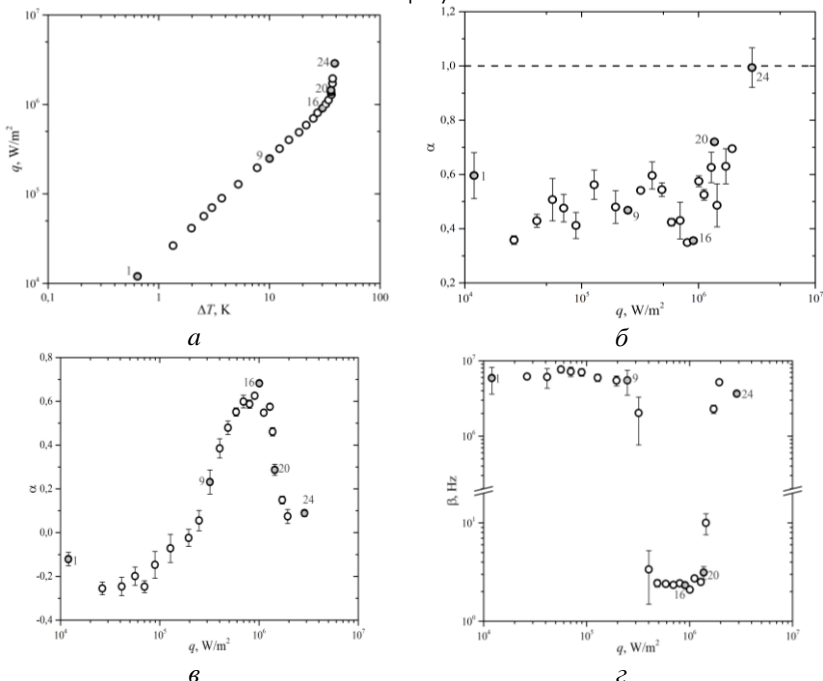


Рис.1. Результаты экспериментального исследования при недогреве до температуры насыщения 10 К и расходе 11.3 л/мин: а – кривая кипения; б – зависимость показателя степени α аппроксимации (1) от плотности теплового потока (аппроксимация до 1 Гц); в – зависимость показателя степени α аппроксимации (1) от плотности теплового потока (аппроксимация до 10 Гц); г – зависимость константы β аппроксимации (2) от плотности теплового потока (аппроксимация до 10 Гц).

Проведение такого частотного анализа флуктуаций температуры теплоотдающей поверхности позволит диагностировать наступление переходных процессов теплоотдачи при эксплуатации энергетического оборудования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16- 19-10548).

**МЕТОДИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ
ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ ПО
ДАНЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА PAMELA ЗА 2006-2016**

Мухин П.Е., Михайлов В.В.

НИЯУ МИФИ, Москва

тел. +79258760132; e-mail: pasha_muxin@mail.ru

Эксперимент PAMELA в течение 10 лет собирал данные по космическим лучам в околоземном пространстве с целью изучения энергетических спектров античастиц. [1]

Одной из задач эксперимента является прецизионное восстановление спектров электронов и позитронов галактической компоненты космических лучей, при низких энергиях (0.1-1 ГэВ) одним из потенциальных источников которых является распад или аннигиляция гипотетических частиц темной материи [3]. Недавно суммарные спектры позитронов и электронов были получены в эксперименте Voyager за пределами гелиосферы при энергиях ниже 100 МэВ, и в экспериментах AMS-02 в 2011-2014 гг. при энергиях выше 1 ГэВ; PAMELA в 2006-2009 гг. внутри гелиосферы [3-5]. В этом энергетическом интервале ниже ~1 ГэВ солнечная модуляция может существенно изменить форму спектров, что затрудняет экстраполяцию данных при высоких энергиях в область низких энергий. Из этого следует, что важно восстановить недостающую часть спектров в области низких энергий по данным эксперимента PAMELA, измеренную одновременно с Voyager и AMS-02.

В работе были обработаны данные 10-й редакции эксперимента PAMELA за 2006-2016 гг. с уточненными критериями отбора электронов и позитронов. Были определены методом Монте-Карло характеристики прибора, рассчитаны его суточные эффективности и экспозиции. На этой основе восстановлены временные зависимости потоков электронов и позитронов, получены предварительные результаты по энергетическим, спектрам электронов и позитронов низких энергий за весь период работы эксперимента.

В качестве примера на рис. 1 приведены энергетические распределения позитронов и электронов за 2010-2014 гг., полученные при использовании данной методики:

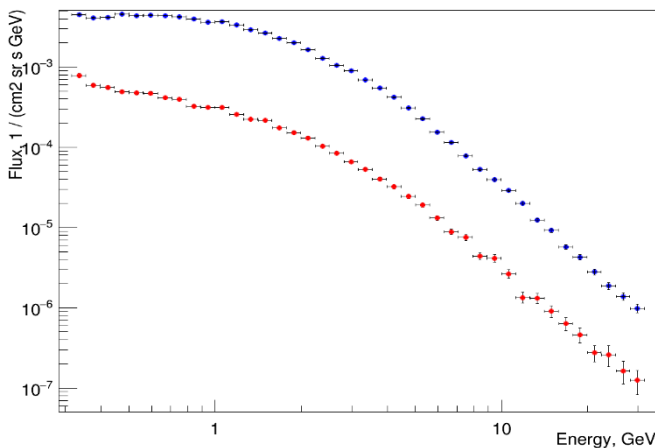


Рисунок 1. Энергетические распределения позитронов и электронов за 2010-14 гг. Красные точки – позитроны; Синие – электроны+позитроны

Ссылки:

1. P. Picozza, A.M. Galper, G. Castellini... PAMELA – A payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics. *Astroparticle Physics* V.27, 4, 296 (2007).
2. M. Boudaud, Ju. Lavallo and Pierre Salati *Phys. Rev. Lett.* 119. 021103 (2017)
3. E. C. Stone, A. C. Cummings, F. B. McDonald, B. C. Heikkila, N. Lal, and W. R. Webber, *Science* 341, 150 (2013).
4. M. Aguilar et al., *Phys. Rev. Lett.* 113, 121102 (2014).
5. O. Adriani, G. C. Barbarino, G. A. Bazilevskaya *The Astrophysical Journal*. V.810, 2, 142, 13 (2015)

**СИГНАЛЫ ОТ ОДИНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ
ИОНИЗАЦИИ В ДВУХФАЗНОМ ЭМИССИОННОМ
ДЕТЕКТОРЕ РЭД-100**

Ницета Д.А.

*НИЯУ «МИФИ», Москва.
89856646254, nish.dima@gmail.com*

Эмиссионные детекторы на благородных газах позволяют регистрировать ионизирующее излучение различной природы и восстанавливать координату вершины взаимодействия [1,2]. Этот факт позволяет использовать их для решения различных задач физики элементарных частиц [3]. Чувствительность таких детекторов к одиночным электронам ионизации, возникшим в объёме, открывает возможность исследования упругого когерентного рассеяния нейтрино на атомном ядре (УКРН) с их помощью [4].

Слабоизученным недостатком ксеноновых эмиссионных детекторов является наличие спонтанного одноэлектронного шума [5]. В докладе будут представлены результаты изучения одноэлектронных шумов в детекторе РЭД-100.

Литература

1. A. I. Bolozdynya Emission Detectors. -2010. -209 p.
2. A. I. Bolozdynya, V. Egorov, B. Rodionov and V. Miroshnichenko, Emission detectors. IEEE Trans. Nucl. sci. 42 (1995) 565.
3. E. Aprile, T. Doke, Liquid Xenon Detectors for Particle Physics and Astrophysics. Rev.Mod.Phys.82:2053-2097, 2010. (arXiv:0919.4956 [physics.ins-det]).
4. E. Santos et al., Single electron emission in two-phase xenon with application to the detection of coherent neutrino-nucleus scattering. JHEP12-115 (2011).
5. P. Sorensen, K. Kamdin, Two distinct components of the delayed single electron noise in liquid xenon emission detectors. JINST 13 P02032 (2018).

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАНОСТРУКТУР С ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Поletaев Д.А., Соколенко Б.В., Старосек А.В., Войтицкий В.И.

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского,

Симферополь

конт. тел. +73652608260, e-mail poletaevda@cfuv.ru

Освоение ближнего и дальнего космоса требует защиты экипажа космических аппаратов и его оборудования от космических лучей, более 90 % которых составляют высокоэнергетические заряженные частицы (ВЗЧ) [1]. Современные методы устранения влияния ВЗЧ используют сложные многослойные покрытия и системы возбуждения искусственного магнитного поля [1]. Однако данные способы защиты от ВЗЧ слишком громоздки. В работе предлагается и обсуждается конструкция ячейки наноматериала для изменения траектории движения ВЗЧ. Представляется целесообразным провести численное моделирование данной структуры и оценить степень влияния на высокоэнергетические заряженные частицы.

Целью работы является теоретическая оценка магнитного поля, индуцируемого в ячейке предлагаемого наноматериала ВЗЧ.

Ячейка содержит электропроводящие пластины, электропроводящий виток и диэлектрическое связующее. ВЗЧ (протон, альфа-частица, электрон) попадает в ячейку между пластинами. При этом, по теореме Шокли-Рамо [2] между соединенными электропроводящим витком пластинами наводится электрический ток. Величина этого тока определяется скоростью движения ВЗЧ и ее зарядом. Ток, наведенный в электропроводящем витке возбуждает магнитное поле [2]. Это магнитное поле взаимодействует с ВЗЧ, изменяя траекторию ее движения: под действием силы Лоренца [2] прямолинейное движение заряженной частицы превращается в криволинейное – заряженная частица отклоняется в сторону. При этом расположенные за наноматериалом объекты не испытывают действия ВЗЧ, так как ВЗЧ отклоняются.

В ходе численного моделирования были выбраны следующие параметры для ВЗЧ – протона, энергия которого изменялась от 5

МэВ до 5 ГэВ: электропроводящие пластины представляли собой квадраты со стороной 28 нм с проводимостью меди, электропроводящий виток имел радиус 14 нм. В ходе численного моделирования рассчитана зависимость модуля индукции магнитного поля в электропроводящем витке в зависимости от энергии ВЗЧ.

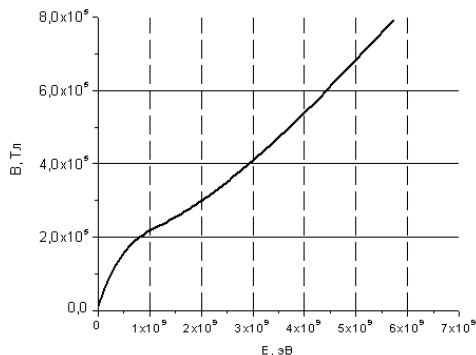


Рис.1. Зависимость модуля магнитной индукции от энергии ВЗЧ

Из графика на рис.1. видно существенное увеличение модуля индукции магнитного поля при увеличении энергии ВЗЧ. На конструкцию ячейки подана заявка на полезную модель.

Исследование выполнено в рамках поддержанного федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» гранта № ВГ18/2018.

Литература

1. Т.К. Gaisser. Spectrum of cosmic-ray nucleons, kaon production, and the atmospheric muon charge ratio. *Astropart. phys.* Issue 35. P. 801-806 (2012)
2. Г.М. Герштейн. Некоторые вопросы взаимодействия заряженных частиц с электрическим полем. (Саратов: Издательство Саратовского университета. 1960).

НЕЙТРОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВА СО СЛОЖНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Полозков С.Д., Беденко С.В., Кузнецова М.Е., Беденко Д.Н.

*НИ ТПУ, Томск
+79996193792, serge.polozko@gmail.com*

В работе исследуется нейтронная составляющая радиационных характеристик отработавшего топливного блока высокотемпературной газоохлаждаемой ториевой реакторной установки, конфигурация активной зоны и режимы эксплуатации исследуемого реактора отражены в работах [1,2]. Выполнена расчетная оценка выхода нейтронов, образующихся в реакциях (α, n) и при спонтанном делении. Путем аппроксимации обширного перечня расчетных и экспериментальных данных получено спектральное и нормированное распределение нейтронов. Функции распределения подготовлены в 238-ти групповом виде для использования в расчетах по программе MCNP5. Показано, что реакция (α, n), для исследуемого режима облучения, незначительна, а выход нейтронов можно аппроксимировать спектральной функцией Уатта. Разработанную методологию можно использовать при подготовке файла входных данных для задач нейтронно-активационного анализа, при расчете дозовых характеристик источников нейтронов и подкритических сред, содержащих гетерогенные включения разной формы, размера и состава. Кроме того, данную методологию можно адаптировать, для исследования флуктуаций нейтронного фона в экосистемах (грунт, грунтовые воды и водоемы) [3], содержащие U- и Pu-микрочастицы, структурно-состоящие из диоксидов актинидов.

Литература

1. Shamanin I.V., Bedenko S.V., Chertkov Yu. B., Gubaydulin I.M., Gas-Cooled Thorium Reactor with Fuel Block of the Unified Design // Advances in Materials Science and Engineering. – 2015 – V. 2015. – P. 1-8.

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

2. Shamanin I.V., Chertkov Y.B., Bedenko S.V., Mendoza O., Knyshev V.V., Grachev V.M. Neutronic properties of high temperature gas cooled reactors with thorium fuel // *Annals of Nuclear Energy*. – 2018. – V. 113. – PP. 286-293.

3. Власова И.Э., Калмыков С.Н., Батук О.Н. и др. Физико-химические формы альфа-излучающих радионуклидов в пробах донных осадков водоёма 17 (В-17, старое болото) ПО "Маяк" // *Вопросы радиационной безопасности*. – 2013. – № 2. – С. 48–56.

ОРБИТЫ ГРАВИТИРУЮЩИХ КОНФИГУРАЦИЙ С НЕДОСТАТКОМ ПРЕЦЕССИИ

Поташов И.М., Цирулёв А.Н., Чемарина Ю.В.

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», Тверь

Тел: 89000143264; e-mail: IM.Potashov@tversu.ru

Астрофизические наблюдения нескольких последних десятилетий подтверждают, что гравитационные объекты во Вселенной окружены тёмной материей. В частности, это необходимо учитывать при изучении объектов в центрах галактик. Подходящей моделью для таких объектов могут служить асимптотически плоские конфигурации со скалярным полем [1].

В астрономических наблюдениях изучение измеряемых параметров орбит конфигураций (расположение последних устойчивых орбит, собственный момент вращения, угол прецессии перигелия, величина прецессии) играет ключевую роль в определении типа конфигураций (чёрная дыра, кротовая нора или голая сингулярность) [2, 3].

В исследовании рассматриваем два тапа конфигураций с фантомным скалярным полем: сферически симметричные чёрные дыры с радиусом горизонта событий меньше $2m$, а также кротовые норы.

Для описания чёрных дыр мы используем метрику в шварцшильдовых координатах

$$ds^2 = A dt^2 - \frac{dr^2}{f} - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2), \quad (1)$$

а для описания кротовых нор мы используем квазиглобальные координаты [3]

$$ds^2 = A dt^2 - \frac{dr^2}{A} - C^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2). \quad (2)$$

Все метрические функции в формулах (1)—(2) зависят только от радиальной координаты r .

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

У рассматриваемых конфигураций существуют финитные орбиты, обладающих недостатком прецессии, отличные от квазиэллиптических орбит. Пробная частица, двигаясь по такой орбите, за один оборот несколько раз достигает перигелия и афелия. Пример такой орбиты показан на Рис. 1.

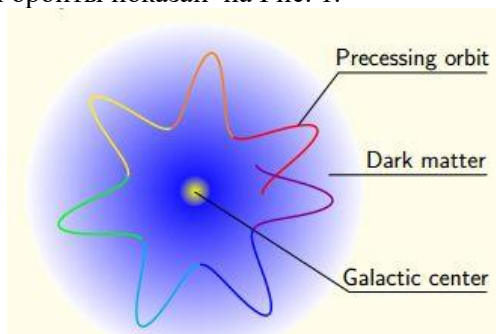


Рис.1. Модель галактики с тёмной материей и орбитой с недостаточной прецессией.

Литература

1. Никонов В.В., Поташов И.М., Цирулев А.Н., Чемарина Ю.В. Круговые орбиты вокруг гравитирующих конфигураций фантомных скалярных полей // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2016. №4. С. 61–78.
2. Nikonov V.V., Potashov I.M., Tsirulev A.N. Circular orbits around static self-gravitating scalar field configurations [Electronic resource] // Mathematical Modelling and Geometry. 2016. Vol. 4, № 2. Pp. 10–32. URL:<http://mmg.tversu.ru/images/publications/2016-vol4-n2/Nikonov-Article.pdf>.
3. Potashov I. M., Tchamarina Ju. V., Tsirulev A. N. Bound orbits near the throats of phantom scalar field wormholes [Electronic resource] // Mathematical Modelling and Geometry. 2018. Vol. 6, № 3. Pp. 9–21.

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДУЛЯ CRIMR-SERPENT МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОГО РАСЧЕТНОГО КОМПЛЕКСА НА МОДЕЛИ РЕАКТОРА БН-600 ИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО БЕНЧМАРКА МАГАТЭ

Пугачев П.А., Романенко В.И., Смирнов А.Д., Тихомиров Г.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Институт ядерной физики и технологий, Москва, Россия
e-mail: PAPugachev@mephi.ru*

Высокие темпы развития вычислительных возможностей определили мультифизический характер современных программ анализа объектов ядерной энергетики [1]. В основе мультифизических кодов заложено одновременное моделирование различных физических процессов, имеющих большое значение в работе ядерных реакторов: взаимодействие нейтронов и ядер топлива, конструкционных метериалов и теплоносителя; термомеханическое поведение составляющих ТВЭЛОВ; теплогидравлические процессы в теплоносителе.

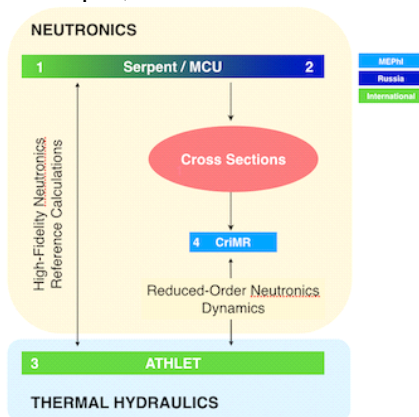


Рис.1. Схема обмена данными между кодами мультифизического комплекса CRIMR-Serpent-ATHLET

В ИЯФит НИЯУ МИФИ несколько лет ведутся работы в области связанных расчетов ядерных реакторов на базе кодов независимого расчета физических процессов. В 2018 году началась работа по

объединению отдельных связей под единой оболочкой мультифизического программного комплекса (рис. 1).

Данная работа посвящена верификации модуля обмена данными между программами нейтронно-физического (НФ) расчета CriMR, Serpent и MCU. CriMR - разрабатываемый в НИЯУ МИФИ диффузионный НФ код; Serpent и MCU - НФ коды на основе метода Монте-Карло, созданные в Центре технических исследований Финляндии и Курчатовском институте соответственно [2-3].

Изучаемый в данной работе бенчмарк на основе реактора БН-600 был сформулирован в 1999 году в рамках проекта МАГАТЭ [4]. Бенчмарк разработан для двух активных зон: гибридной зоны с урановым и плутониевым топливом и зоны с плутониевым топливом (рис. 2). Результаты расчета бенчмарка по связке программ Serpent-CriMR и MCU-CriMR были сопоставлены между собой и с результатами бенчмарка. Сравнение показало хорошую согласованность результатов.

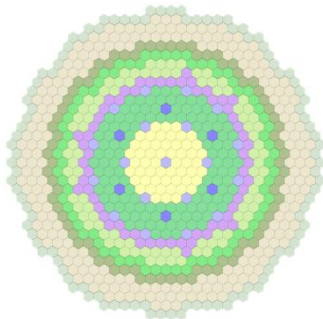


Рис.2. Модель активной зоны реактора БН-600 в программе Serpent

Литература

- 1.Demazière, C. Journal of Nuclear Energy Science and Technology, 7(4), 13–14. (2013).
- 2.J. Leppänen et al. Ann. Nucl. Energy. 82 ,142-150. (2015).
- 3.Kalugin, M. A., Oleynik, D. S., & Shkarovsky, D. A. Overview of the MCU Monte Carlo software package. Ann. Nucl. Energy. 82(m), 54–62. (2015).
- 4.IAEA. BN-600 Hybrid Core Benchmark Analyses. The Calculational Uncertainties of the LMFR Reactivity Effects. (2010).

**СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ
ЯЧЕЕК ВВЭР В СУТОЧНОМ ГРАФИКЕ
МАНЕВРИРОВАНИЯ ДВУМЯ ПРОГРАММАМИ
GETERA И WIMS**

Рахман Ск Анисур, Увакин М.А

*National Research Nuclear University (MEPhI), City-Moscow,
Kashira Highway, House-31,
115409. Tel: +7(495) 788-56-99, Fax: +7(499) 324-21-11,
E-mail: info@mephi.ru)*

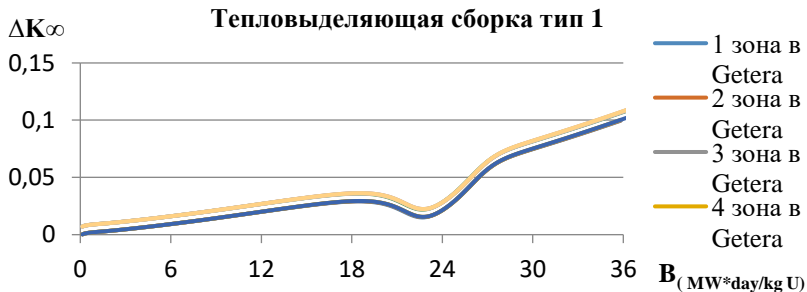
Эта работа ориентирована на решение реальных задач реактора ВВЭР. Проблема ядра реактора состоит в том, сколько зон требуется как в топливном стержне, так и в топливном стержне с гадолинием. Работа содержит отклонение коэффициента размножения и подход оценки выгорания. Чтобы решить эту проблему и получить результат, использовались программы GETERA-93 и WIMS. Для подготовки данных была использована SIMPLE FORTRAN.

Когда в топливном стержне только одна зона является топливом Рисунок 1, то отклонение коэффициента размножения против выгорания, которое рассчитывается программой WIMS, показанной на рисунке 7. Этот расчет для топливной сборки типа 1 (когда в топливе сборка имеет 6 видов топлива с гадолиНИЕВЫМИ стержнями и обогащение урана 4,95%).



Но когда топливная зона была разделена на пять подзонов на рисунке 4, то отклонение коэффициента размножения против выгорания, которое рассчитывается программой WIMS и GETERA-

93, показанной на рисунке 8. Но на этом рисунке 8 расчетный результат показал, что наличие дополнительной топливной зоны (2, 3, 4 и 5) отклонение коэффициентов размножения не изменяется программой WIMS и GETERA-93 соответственно.



Литература

1) Petruzzi A. Development and Application of Methodologies for Sensitivity Analysis and Uncertainty Evaluation of the Results of the Best Estimate System Codes Applied in Nuclear Technology, Ph.D. Thesis, Università Di Pisa, 2008.

2) Kolev N., Petrov N., Donovan J., Angelova D., Aniel S., Royer E., Ivanov B., Ivanov K., Lukanov E., Dinkov Y., Popov D., Nikonov S. VVER-1000 Coolant Transient Benchmark PHASE 2 (V1000CT-2), Vol. II: MSLB Problem – Final Specifications, OECD Nuclear Energy Agency, 2006.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА АНТИПРОТОНОВ И ПОИСКА АНТИДЕЙТРОНОВ И АНТИГЕЛИЯ В ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА ПАМЕЛА (2006 - 2016)

Роденко С.А, Майоров А.Г от имени коллаборации ПАМЕЛА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

8-962-919-94-75, SARodenko@mephi.ru

Измерение галактической компоненты антипротонов в космическом излучении представляет интерес для изучения механизмов генерации и распространения частиц и античастиц в Галактике, для поиска новых источников античастиц и исследования их свойств. Согласно результатам эксперимента, PAMELA [1], которые были получены при обработке данных до 2009 года включительно, в космических лучах наблюдается не только избыток позитронов в сравнении со стандартной моделью космических лучей, но и превышение доли антипротонов над ожидаемым значением [2] (позднее результаты подтверждены в эксперименте AMS-02). Эффект может быть связан со свойствами частиц тёмной материи – возможностью аннигилировать или распадаться, образуя антипротоны в конечном состоянии. Долговременные измерения потока антипротонов также позволяют изучать проникновение космических лучей в гелиосферу, исследовать т.н. зарядовую зависимость солнечной модуляции.

Поиски антиядер тяжелее антипротонов не менее важны для современной астрофизики. Наблюдение или установление лучшего ограничения на их поток позволяет развивать теоретические модели, объясняющие барионную асимметрию Вселенной, отсутствие антивещества в гало галактики и т.п., а также изучать механизмы вторичного происхождения антиядер с $A > 1$.

В работе приводятся результаты измерения потока антипротонов, а также поиска антидейтронов и антигелия в галактических космических лучах по данным космофизического эксперимента PAMELA, который проводился на околоземной орбите с июня 2006

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics
года до января 2016 года. Результаты получены в результате обработки всего объёма научной информации.

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. О. Адриани и др. Письма в ЖЭТФ Т.96 С. 693 (2012)
3. M. Aguilar et al. *Phys. Rev. Lett.* Vol. 117, P. 091103(2016)

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДНЫХ МИКРОЧАСТИЦ ПЫЛИ МЕТЕОРИТА «ЧЕЛЯБИНСК»

Савостеенко Г.А.¹, Таскаев С.В.¹, Горькавый Н.Н.^{1,2},
Дудоров А.Е.¹

¹ Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

² SSAI/Goddard Space Flight Centr/NASA

+79193140000 tsv@csu.ru

Метеорит «Челябинск», упавший 15 февраля 2013 года, был уникальным по своим масштабам явлением и вызвал огромный общественный и научный интерес. Падение метеорита сопровождалось взрывом, в результате основная масса перешла в пыль и была сосредоточена в газопылевом шлейфе [1]. В исследованных образцах обнаружены фрагменты углеродных структур, обладающие признаками кристаллической симметрии с осью шестого порядка.

Углеродные частицы в пыли находятся в разных конфигурациях, но с единым общим признаком – наличием огранки, которая аналогична огранке по базисным плоскостям кристаллов (см. рис. 1 (а,б)). Предполагается, что в основе может выступать фуллерен и нанотрубка.

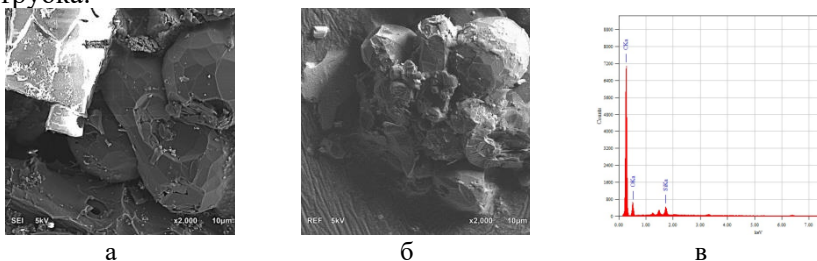


Рис.1 Изображение углеродных частиц, полученные методом электронной микроскопии(а,б); Элементный состав углеродной частицы (в).

Для выяснения природы кристаллизации в такого рода структуру были проведены энергодисперсионный микроанализ объекта на рис. 1 (в), который показывает, что он состоит в основном из углерода. Однако, наблюдаемая четко выраженная ось симметрии шестого порядка не характерна для кристаллической формы углерода в виде алмаза, базисные плоскости которого представлены гранями тетраэдров.

Экспериментальные исследования с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света представлены на рис.2. Наличие пика 3D mode на частоте $\sim 1330 \text{ cm}^{-1}$ в нашем случае может быть вызвано множественными дефектами структуры, гранями и, например, на спектрах мода присутствует, однако говорить о том, что структура в этом случае может быть отнесена к смеси фаз, представленных sp-2 и sp-3 гибридизированными атомами углерода со 100% уверенностью нельзя.

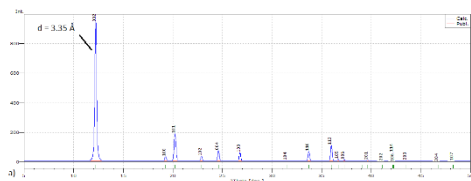
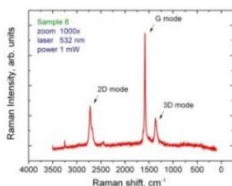


Рис.2 Раман-спектр (слева); Рентгеновская порошковая дифракция графита в случае Mo K α излучения (справа).

Методом рентгеновская микродифракция обнаружены только рефлексы, соответствующие межплоскостному расстоянию $d \approx 3.35$. Они могут принадлежать только одной аллотропной форме углерода – рефлексу (002) графита рис. 2 (справа). Интенсивность сигнала достаточно низкая (максимально 2000 событий для 700 сек экспозиции), можно предположить, что рефлексы являются наиболее сильными и формируются основной частью структуры частицы, а остальные можно отнести к фоновому шуму.

Тот факт, что обнаружено несколько рефлексов (002) относящихся к графиту показывает, что изучаемая углеродная частица не является монокристаллом, а состоит из нескольких кристаллитов (является агломератом).

Уникальные структуры, обнаруженные в метеоритной пыли, которые ранее не наблюдались, еще раз демонстрируют неограниченный потенциал природы для синтеза новых материалов.

Литература

1. Горькавый Н.Н., Дудоров А.Е. Челябинский суперболид. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016.-223с.

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВКИ TAIGA-HiSCORE К ИЗВЕСТНЫМ ГАММА-ИСТОЧНИКАМ В ТЭВ-ДИАПАЗОНЕ

Самолига В.С.

*НИИПФ ФГБОУ ВО “ИГУ”, Иркутск
конт. тел.: 8(904)1122716, e-mail: samoligavs@gmail.com*

Космические источники гамма-излучения представляют интерес для ряда областей фундаментальной науки: поиск тёмной материи, нарушение Лоренц-инвариантности, существование аксионо-подобных частиц [1]. В настоящее время несколько крупных экспериментов, таких как HAWC [2], исследуют гамма-источники в диапазоне энергий в десятки-сотни ТэВ.

В настоящей работе преследуется цель оценить уровни сигналов, полученных на установке TAIGA-HiSCORE при наблюдении ряда гамма-источников, и дать оценку времени наблюдения для достижения требуемого уровня сигнала. Например, на рисунке 1 представлена зависимость времени наблюдения Крабовидной туманности для достижения сигнала в 5σ от площади установки HiSCORE и уровня гамма-адронного разделения.

Выполнена обработка экспериментальных данных за сезон наблюдений 2017-2018 гг. Помимо сообщавшихся ранее результатов для Крабовидной туманности [3] проведена оценка уровня сигнала таких источников, как Markarian 421, MGRO J2019+37, ARGO J2031+4157 и др.

Также приводятся оценки верхних пределов излучения источников и их экспозиции, полученные на установке TAIGA-HiSCORE.

Работа выполнена при поддержке Иркутского государственного университета, индивидуальный исследовательский грант № 091-18-214.

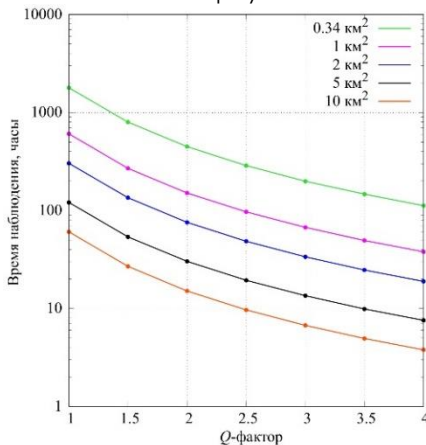


Рис.1. Время наблюдения Крабовидной туманности

Литература

1. De Angelis A. Fundamental Physics With Cosmic High-Energy Gamma Rays // AIP Conf. Proc. — 2017. — Vol. 1792, no. 1. — P. 020004.
2. Sensitivity of the High Altitude Water Cherenkov Detector to Sources of Multi-TeV Gamma Rays / A. U. Abeysekara [et al.] // Astropart. Phys. — 2013. — Vol. 50—52. — P. 26—32.
3. Search for gamma-ray emission above 50 TeV from Crab Nebula with the TAIGA detector / L. Sveshnikova [et al.] // PoS. — 2017. — Vol. ICRC2017. — P. 677.

АНАЛИЗ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТВС РУ ВК-50 ДО 7-МИ ЛЕТ В РАСШИРЕННОЙ АКТИВНОЙ ЗОНЕ

Скрябин А.А., Ефимов Е.И.
ДИТИ НИЯУ МИФИ

Одной из проблем реактора ВК-50 является высокая неравномерность выгорания топлива по высоте ТВС по сравнению с реакторами типа BWR и ВВЭР [1]. Повысить выгорание топлива можно с помощью применения ТВС с выгорающим поглотителем либо с дополнительной загрузкой в реактор ТВС отработавших в активной зоне 6 лет на еще один год с погружением нижней части ТВС под активную зону для «дожигания» верхней части ТВС имеющей малое выгорание.

Выравнивание выгорания по высоте осуществляется как за счет использования в активной зоне топлива со стержнем выгорающего поглотителя, так и загрузкой в периферийную часть активной зоны топлива имеющее существенное выгорание в нижней части (порядка 28-30 МВт сут/kgU) и меньшее выгорание в верхней части (7-10 МВт сут/kgU) ТВС.

Реактор ВК-50 до 2010 года эксплуатировался с загрузкой «малой» активной зоны. В 2010 году активная зона была расширена на один ряд с загрузкой в неё 18 дополнительных ТВС. Расширение активной зоны при сохранении тепловой мощности 200 МВт привело к снижению максимальных тепловых нагрузок на твэлы, повышению устойчивости реактора и экономии свежего топлива. Срок эксплуатации топлива при такой загрузке увеличивается до 6 лет. Картограмма загрузки расширенной активной зоны представлена на рисунке 1.

За счет загрузки в пустые ячейки 6-го ряда дополнительных ТВС, отработавшие 6 лет с погружением под активную зону, можно добиться дополнительного снижения максимальных нагрузок на твэлы, выравнивания выгорания топлива по высоте ТВС и как следствие увеличение срока эксплуатации ТВС до 7 лет.

Картограмма расчетной загрузки активной зоны с дополнительными ТВС представлена на рисунке 2.

Дополнительные ТВС предполагается погружать под активную зону на 100 см. так как при этом будут соблюдены требования

ядерной безопасности о не превышении $K_{эфф}$ в холодном состоянии реактора выше значения 0,98 [2].

Конструктивно, для размещения дополнительных ТВС, предполагается устанавливать их в ячейки предназначенные для РО СУЗ. Данные ячейки являются сквозными и установкой на нижнюю опорную плиту проставок соответствующих размеров можно добиться необходимой глубины погружения ТВС под активную зону.

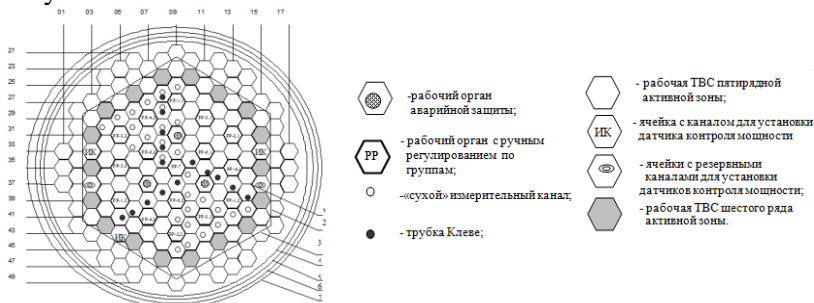


Рисунок 1 – Картограмма загрузки расширенной активной зоны реактора ВК-50

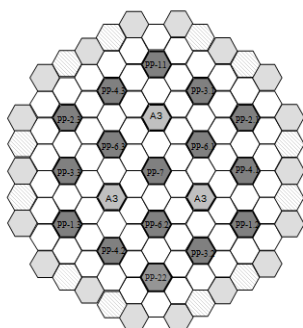


Рисунок 2 – Картограмма расчетной загрузки активной зоны с дополнительными ТВС.

Дополнительная рабочая ТВС шестого ряда частично погружена под активную зону

Расчет распределения выгорания по высоте ТВС был выполнен с использованием программного комплекса БИПР-К+ROR-F [3,4]. В данном программном комплексе подготовка нейтронно-физических констант осуществляется по программе ROR-F, нейтронно-физический и теплогидравлический расчет физических характеристик активной зоны в трехмерной геометрии (энергораспределение, тепловые линейные нагрузки твэлов, критическое положение органов СУЗ и др.) по программе БИПР-К.

По результатам расчета получено распределение выгорания топлива по высоте рабочей ТВС за седьмой год эксплуатации в активной зоне. Результаты расчета приведены на рисунке 3, для сравнения показано также выгорание в рабочей ТВС при условии ее штатного расположения в ячейке (без погружения под активную зону).

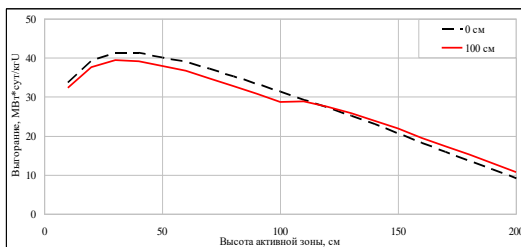


Рисунок 3 – Расчетное распределение выгорания по высоте рабочей ТВС установленной в дополнительных ячейках шестого ряда с погружением под активную зону за седьмой год эксплуатации в сравнении с выгоранием ТВС за шесть лет эксплуатации без погружения под активную зону.

Загрузка в пустые ячейки 6-го ряда дополнительных ТВС позволяет увеличить выгорание в верхней части ТВС на 2-3 МВт*сут/кгU, что повышает эффективность использования топлива реактора ВК-50.

Таким образом, на основании расчётных исследований распределения выгорания по высоте ТВС, можно сделать вывод о том, что продление срока эксплуатации ТВС РУ ВК-50 с целью повышения выгорания верхней части имеет смысл при погружении ее нижней части под активную зону на 100 см.

Список использованной литературы:

1. Протопопов Д.П., Святкина Н.А., Синявина Е.В., Бреусова Е.Г., Орешин С.В. Результаты эксплуатации реактора ВК-50 с расширенной активной зоной. — Научный годовой отчет АО «ГНЦ НИИАР» (отчет об основных исследовательских работах, выполненных в 2015 году). — Димитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2016. С. 123–129.
2. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила ядерной безопасности исследовательских реакторов» НП 009-17.
3. Семидоцкий И.И., Святкина Н.А., Синявина Е.В. Верификация расчетных кодов применительно к исследовательской ядерной установке ВК-50. Сборник трудов АО «ГНЦ НИИАР», 2015 г

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩЕГОСЯ РЕАКТОРА В ПРОГРАММЕ SERPENT

Смирнов А.Д.¹, Тихомиров Г.В.¹, Кувагаки К.², Обара Т.²

¹ *Институт ядерной физики и технологий, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия*

² *Лаборатория передовой ядерной энергии, Институт инновационных исследований, Токийский технологический институт, Токио, Япония
e-mail: ADSmirnov@mephi.ru*

Современные легководные реакторы (LWR) используют только около 0.6 % урана в топливе, выгружая остальную часть в качестве отходов. Переработка ядерного топлива для дальнейшего использования в быстрых реакторах является дорогостоящей процедурой с риском нежелательного распространения.

Концепция так называемого самоподдерживающегося реактора (или реактора-«самоеда») позволяет решить проблему низкой эффективности использования урана. Уникальная идея этой концепции заключается в том, что плутоний, полученный из природного или обедненного урана, используется для производства энергии. Хотя для запуска цепной реакции требуется обогащенное урановое или плутониевое топливо, после запуска можно эксплуатировать реактор, используя подпитку только из природного или обедненного уранового топлива, и достичь очень высокого уровня использования урана без стадии переработки

Данная работа посвящена результатам нейтронно-физического анализа одной из концепций самоподдерживающегося реактора - Breed and Burn Reactor [1]. Первоначально концепция была предложена сотрудниками Токийского технологического института. В таком реакторе ТВС находятся в активной зоны продолжительное время, постепенно передвигаясь от периферии к центру АЗ (рис. 1). В качестве подпитки используется натуральный уран. В процессе работы реактора в ТВС образуется делящийся изотоп Pu-239, деление которого преимущественно в центральной части АЗ генерирует энергию и избыточное количество нейтронов, захват которых на ядрах топлива периферийных ТВС снова приводит к

появлению Pu-239.

В рамках данного исследования модель активной зоны реактора была собрана в программе нейтронно-физического расчета Serpent [2]. Исследуемыми величинами являлись эффективный коэффициент размножения и высотное распределение концентраций минорных и мажорных актинидов в различных ТВС в течение нахождения топливных сборок в реакторе.

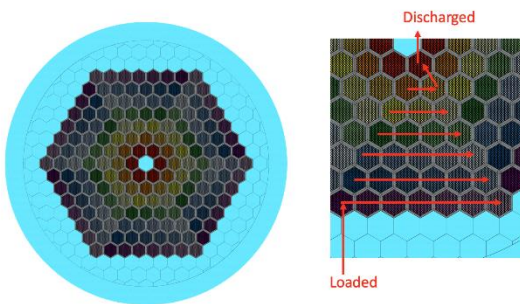


Рис.1. Картограмма АЗ реактора Breed and Burn в программе Serpent и схема перестановки топлива в течение работы реактора

Полученные результаты были сравнены с данными расчета Breed and Burn Reactor, полученными в программе MVP [3]. Сравнение показало хорошую согласованность результатов.

Литература

1. Kuwagaki, K., Nishiyama, J., & Obara, T. Concept of breed and burn reactor with spiral fuel shuffling. *Annals of Nuclear Energy*, 127, 130–138. (2019).
2. Leppänen, J., Pusa, M., & Fridman, E. Overview of methodology for spatial homogenization in the Serpent 2 Monte Carlo code. *Annals of Nuclear Energy*, 96, 126–136. (2016).
3. Nagaya, Y., Okumura, K., & Mori, T. (2015). Recent developments of JAEA's Monte Carlo code MVP for reactor physics applications. *Annals of Nuclear Energy*, 82, 85–89. (2015).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА ОБРАЗЦОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ РЕАКТОРА ИРТ-Т

Смольников Н.В., Аникин М.Н., Наймушин А.Г., Лебедев И.И.

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет*

+79996191077., nvs38@tpu.ru

Определение величины радиационного разогрева и, как следствие, необходимость охлаждения образцов для реализации безопасной эксплуатации экспериментального канала – важная составляющая экспериментов, осуществляемых на исследовательских ядерных реакторах.

Для определения энерговыделения при проведении экспериментов на базе экспериментальных каналов, была создана трехмерная модель активной зоны реактора ИРТ-Т мощностью 6 МВт [1], с учетом всех геометрических особенностей, в программе MCU-PTR [2], осуществляющей нейтронно-физический расчет методом Монте-Карло [3]. Разработанная трехмерная модель соответствует текущей картограмме активной зоны реактора, приведенной на рисунке 1.

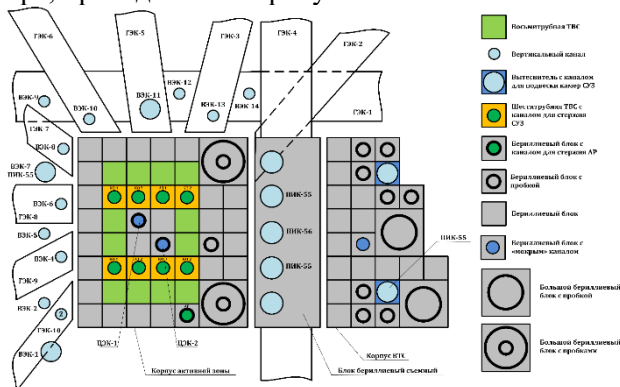


Рис 1. Картограмма активной зоны реактора ИРТ-Т

В качестве образцов для определения величины радиационного разогрева были выбраны цилиндрические слитки алюминия и графита, размещенные в горизонтальном экспериментальном канале №6 (ГЭК-6), который, как можно видеть из рисунка 1 является торцевым. Рассмотрение двух разных образцов в процессе расчета энерговыделения выбрано для установления влияния атомной массы материала на величину радиационного разогрева.

Для обеспечения безопасной верификации расчетных значений энерговыделения, полученных в программе MCU-PTR, был проведен эксперимент на базе ГЭК-6, при мощности реактора равной 50 кВт, что составляет 0,83% от номинальной. Регистрация показаний в процессе эксперимента, осуществлялась с использованием термопары с двумя выводами, размещёнными в разных точках относительной аксиальной и радиальной составляющей образцов для формирования температурного поля во всем образце.

По результатам эксперимента и нейтронно-физического расчета были получены значения величины радиационного разогрева образцов при их облучении в активной зоне реактора ИРТ-Т. Для определения точности проведенного нейтронно-физического расчета было произведено сравнение экспериментальных и расчетных значений с учетом погрешностей.

Литература

1. Varlachev V A, Glukhov G G and Skuridin V S 2011 Research Nuclear Reactor IRT-T, Tomsk Polytechnic University (Tomsk:TPU Press)

2. Гуревич М.И., Шкаровский Д.А. Расчет переноса нейтронов методом МонтеКарло по программе MCU: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ. – 154 с.

3. А. М. Кольчужкин. Метод Монте-Карло в теории переноса излучений. Учебное пособие. Томск: ТПУ. 2003, 104 с.

СОЗДАНИЕ ФИЛЬТРА НЕЙТРОНОВ ДЛЯ НТЛ КРЕМНИЯ МАЛОГО ДИАМЕТРА НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

**Смольников Н.В., Аникин М.Н., Наймушин А.Г., Лебедев И.И.
Варлачев В.А.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет
+79996191077., nvs38@tpu.ru*

Нейтронно-трасмутационное легирование (НТЛ) – одна из трех основных технологий получения сырья для создания полупроводниковых приборов, к которым также относятся: ионная имплантация и термодиффузия. Однако, технология НТЛ позволяет получать полупроводники в промышленном масштабе при величине объемной неравномерности распределения легирующей примеси, не превышающей 10%.

К 2020 году на реакторе ИРТ-Т планируется размещение установки для легирования кремния диаметром до 203 мм на базе нового мокрого вертикального канала в графитовой призме.

Ввиду размещения установки в воде, использование нескольких слитков малого диаметра не является целесообразным по причине большого количества воды в канале, которая имеет высокое сечение поглощения тепловых нейтронов, что приведет к снижению плотности потока тепловых нейтронов. Для повышения функциональности мокрого канала существует необходимость создания и размещения фильтра нейтронов.

Для разработки нейтронного фильтра была создана трехмерная модель активной зоны реактора ИРТ-Т тепловой мощностью 6 МВт [1], с учетом всех текущих геометрических особенностей и нового канала, в программе MCU-PTR, осуществляющей нейтронно-физический расчет методом Монте-Карло. На рисунке 1 представлена разработанная трехмерная модель активной зоны и текущая активная зона реактора ИРТ-Т.

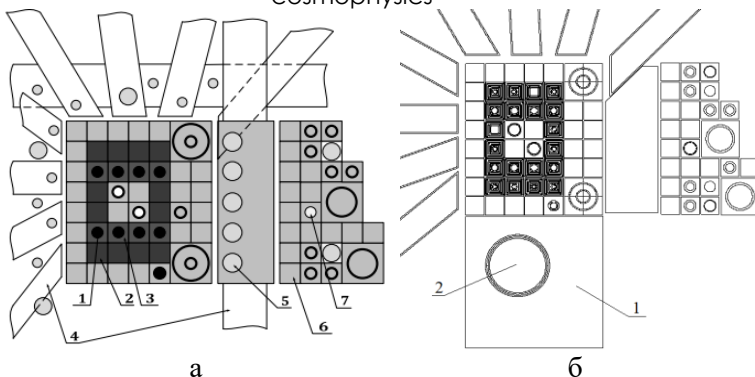


Рис 1. Активная зона реактора ИРТ-Т: а – текущая активная зона: 1– стержни регулирования, 2 – 8-ми трубные ТВС, 3– 6-ти трубные ТВС, 4– горизонтальные экспериментальные каналы, 5– вертикальные экспериментальные каналы, 6– бериллиевые блоки, 7– экспериментальный канал с водой; б – модель активной зоны: 1– графитовая призма; 2 – новый вертикальный экспериментальный канал.

Для рассмотрения влияния фильтра на значения плотности потока тепловых нейтронов в канале были размещены 4 слитка диаметром 65 мм. В качестве материалов фильтра, которым заполнялось пространство между слитками были выбраны алюминий и графит, по причинам наличия низкого сечения поглощения тепловых нейтронов, хорошей замедляющей способности, высокой теплопроводности.

По результатам проведенного нейтронно-физического расчета были получены плотности потоков тепловых нейтронов при использовании выбранных материалов и плотности потоков гамма-квантов для оценки величины радиационного разогрева и возможности охлаждения образцов в процессе обучения.

Литература

1. Varlachev V A, Glukhov G G and Skuridin V S 2011 Research Nuclear Reactor IRT-T, Tomsk Polytechnic University (Tomsk:TPU Press)

ОБРАЗОВАНИЕ СГУСТКОВ КВАРК-ГЛЮОННОЙ МАТЕРИИ В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СОУДАРЕНИЯХ

Созинов Е.С.

Национальный исследовательский ядерный университет

«МИФИ», Москва

+79169746982., e.s.sozinov@gmail.com

Ядерные взаимодействия при очень высоких энергиях представляют особый интерес, например, в исследованиях космических лучей. Но именно при таких энергиях (около 1016 эВ) наблюдаются различные необычные события, объяснить которые в полной мере удалось лишь с использованием модели образования кварк-глюонных сгустков с большим орбитальным моментом.

В данном докладе взаимодействия между ядрами рассматриваются в геометрическом подходе: ядра представляют собой твердые сферы радиуса R с постоянной плотностью нуклонов, взаимодействия между которыми не учитываются. Основным параметром, определяющим объем взаимодействующих частей двух ядер, является прицельный параметр b : расстояние между их центрами.

Для двух разных ядер с радиусами R_1 и R_2 , содержащих число нуклонов A_1 и A_2 соответственно, существует три области взаимодействия (для определенности в дальнейшем считается, что $R_1 > R_2$):

$$0 < b_1 < R_1 - R_2 < b_2 < \sqrt{R_1^2 - R_2^2} < b_3 < R_1 + R_2 \quad (1)$$

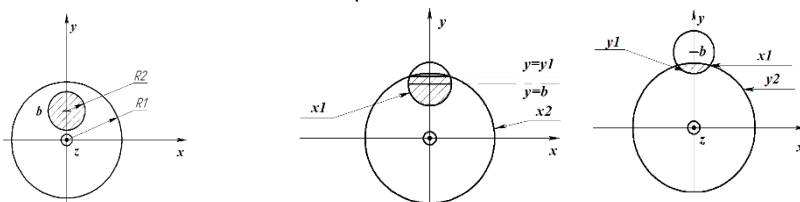


Рис.1. Геометрия столкновений для разных значений прицельного параметра

Схемы, соответствующие данным областям, представлены на рис. 1. Так как плотность нуклонов в ядре постоянна, то число взаимодействующих частиц пропорционально объемам пересечения двух ядер при их взаимодействии ΔV_1 и ΔV_2 . В работе [1] были получены формулы для данных объемов в зависимости от их принадлежности к одной из трех областей соударения и две формулы для общего числа провзаимодействовавших нуклонов:

$$\Delta A = \Delta A_1 \frac{\Delta V_1}{V_1} + \begin{cases} A_2, & 0 < b < R_1 - R_2 \\ A_2 \frac{\Delta V_2}{V_2}, & R_1 - R_2 < b < R_1 + R_2 \end{cases} \quad (2)$$

На рисунке 2 приведена зависимость $\Delta A(b)$ для $R_1=1$, $R_2=0.5$, $A_1=1$, $A_2=0.5^3$.

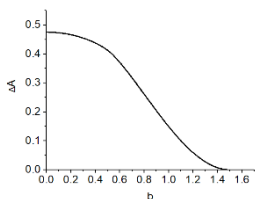


Рис. 2 График зависимости $\Delta A(b)$ для $R_1=1$, $R_2=0.5$, $A_1=1$, $A_2=0.5^3$

Используя полученную функцию $\Delta A(b)$ и плотность вероятности столкновения ядер с прицельным параметром b в виде $f(b) = 2b / (R_1 + R_2)^2$ можно оценить средние значения $\langle \Delta A \rangle$ при столкновении разных ядер. В работе [1] показано, что максимальное возможное значение соответствует четверти для равных ядер. Во взаимодействиях космических лучей с ядрами атмосферы ($A = 14.5$) это значение меняется от 0.2 (гелий и железо) до 0.25 (азот и кислород).

Литература

1. A.A.Petrukhin, E.S. Sozinov and V.V.Shutenko. Possible approach to the analysis of nucleus-nucleus interactions at very high energies. 26ECRS+35RCRC, 2018, Barnaul, Russia

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ Fe_3O_4 НА РАСХОД ПАРА ПРИ КИПЕНИИ НАНОЖИДКОСТИ

***Стручалин П.Г.¹, Тон Х.², Кузьменков Д.М.¹, Делов М.И.¹,
Куценко К.В.¹, Балакин Б.В.^{1,3}***

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

² *University of Bergen, Bergen, Norway*

³ *Western Norway University of Applied Sciences, Bergen, Norway
+7(926)490-40-28., PGStruchalin@mephi.ru*

Кипение жидкости с диспергированными в ней наночастицами под действием солнечного излучения в последние годы находит все большее применение, в том числе в энергетике. Рассматриваемый процесс кардинально отличается от классического кипения на стационарных нагретых поверхностях и позволяет достигать большей эффективности процесса парообразования.

В работе представлены результаты экспериментального исследования по влиянию концентрации наночастиц в жидкости на величину расхода пара в условиях кипения в замкнутом контуре. В качестве рабочей жидкости использовалась дистиллированная вода с диспергированными в ней частицами Fe_3O_4 размером 80-100 нм. Подвод тепла осуществлялся излучением с помощью галогеновых ламп общей мощностью 1200 Вт. Для проведения исследования создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 1.

При проведении экспериментов определялось значение подводимой к жидкости мощности теплового излучения и расход пара при кипении в рабочем объеме. Данные параметры определялись для жидкостей с различными массовыми концентрациями наночастиц (в диапазоне от 0% до 10%), в случаях использования прозрачного и зачерненного рабочего объема. В результате обнаружено, что зависимость расхода пара от массовой концентрации наночастиц в жидкости (рис. 2) имеет максимум при концентрации 1%.

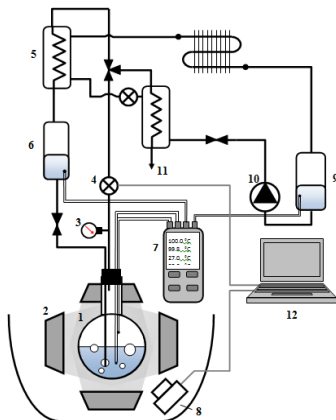
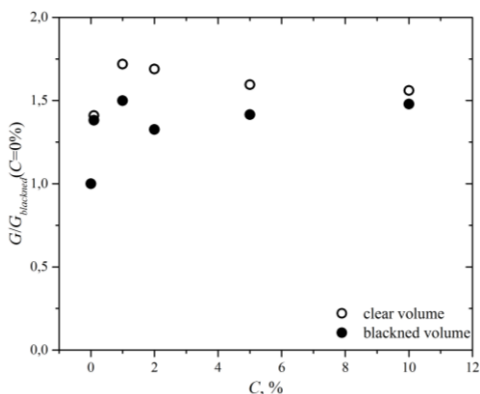


Рис.1. Схема экспериментальной установки
1 – рабочий объем; 2 – лампы; 3 – манометр; 4 – расходомер пара; 5 – теплообменник; 6 – конденсатный бак; 7 – цифровой термометр; 8 – камера наблюдения; 9 – бак воды второго контура; 10 – помпа; 11 – сброс пара в атмосферу; 12 – компьютер.

Рис.2. Зависимость расхода пара от концентрации наночастиц



Полученные результаты необходимы для оптимизации состава наножидкости, планируемой к использованию в качестве рабочего тела создаваемой солнечной энергетической установки с паротурбинным циклом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-10481).

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

Суханов М. А., Каплин В. А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Тел.: 89997756676; e-mail: sukhanov.mikle@yandex.ru

Чаще всего для исследования форм световых импульсов и характеристик сцинтилляторов используется однофотонный метод [1]. На рис. 1 представлена блок-схема установки для таких измерений. Для возбуждения сцинтиллятора используется лазер с длиной волны 405 нм. и β – активный источник ^{90}Sr . Эти измерения требуют больших времен набора информации (около 5~10 часов) с предварительным выдерживанием исследуемого образца в темноте (~1 сут.) для уменьшения остаточного свечения. С появлением цифровых осциллографов открывается новая возможность их применения для измерения времен высвечивания сцинтилляторов. Схема подключения осциллографа также представлена на рис. 1 пунктирными линиями.

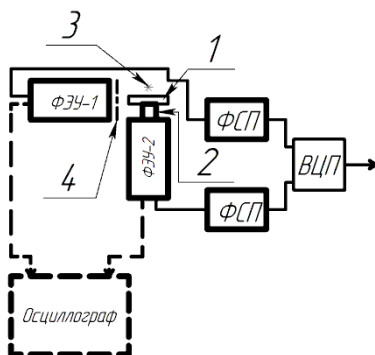


Рис.1. Схема экспериментальной установки. 1-исследуемый образец, 2-пламтмассовый сцинтиллятор для стартового сигнала, 3-источник излучения, 4-диафрагма или светофильтр

В работе исследуется образец кристалла GAGG: Се, а конкретно его время высвечивания [2]. Рассматриваются факторы, которые позволяют получить правильный результат, а также проводится сравнение двух методов.

Спектры с однофотонной установки и усредненные сигналы с осциллографа обрабатывались с помощью программ MathCad 15 [3]. На рис.2 и рис.3 можно наблюдать кривые, полученные двумя разными методами, из которых видно, что время спада при аппроксимации одной затухающей экспонентой в обоих случаях составляет практически одну и ту же величину около 72 нс.

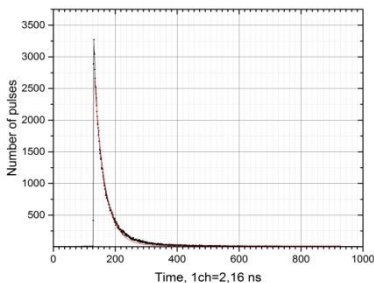


Рис.2 Кривая, полученная однофотонным методом.

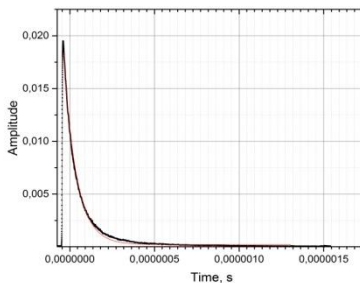


Рис. 3 Кривая, полученная на осциллографе.

Литература

1. Measurement of the Time Dependence of Scintillation Intensity by a Delayed-Coincidence Method* L. M. BOLLINGER AND G. E. THOMAS Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois (Received January 13, 1961; and in final form, April 11, 1961)

2. Штейц. Б и др. Оценка производительности новых кремниевых фотоумножителей для медицинской визуализации. «Фотоника» №1/43 / 2014 Стр.106

3. Федотов С.Н., Пятков Ю.В. Обработка результатов измерений в среде Mathcad (Практикум по курсу «Методы обработки результатов измерений»): Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2017 – 84 с.: 33-37

СВЕРХТОНКАЯ СТРУКТУРА СПЕКТРОВ ЭНЕРГИИ ЛЕГКИХ МЮОННЫХ АТОМОВ

**Сухорукова О.С.¹, Дорохов А.Е.², Мартыненко А.П.¹,
Мартыненко Ф.А.¹**

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна
+79991709043, o.skhrkv@gmail.com

В последние годы интерес к изучению тонкой и сверхтонкой структуры спектров энергии легких мюонных атомов связан в первую очередь со значительным прогрессом, достигнутым экспериментальной коллаборацией CREMA (Charge Radius Experiments with Muonic Atoms) [1-3], которой удалось выполнить измерения частот перехода между уровнями 2P и 2S в мюонном водороде и ионах мюонного гелия. Значения зарядовых радиусов протона и дейтрона, полученные из этих экспериментов, отличаются от тех значений, которые известны из экспериментов с электронными атомами. Планы этой и других коллабораций содержат продолжение исследований, включая новые легкие мюонные атомы.

В данной работе мы продолжаем исследование сверхтонкой структуры спектра энергии мюонных ионов Li, Be, B в рамках квазипотенциального метода в квантовой электродинамике [4-6]. Получены значения сверхтонких расщеплений уровней энергии в мюонных ионах лития, бериллия и бора с точностью 0.01 мэВ. Построены потенциалы взаимодействия частиц, которые дают поправки на структуру ядра и отдачу порядка α^5 и α^6 , и вычислены эти поправки в первом и втором порядка теории возмущений. Поправки на структуру ядра в однофотонном взаимодействии и втором порядке теории возмущений представлены в аналитическом виде. Поправки на структуру ядра из двухфотонных обменных амплитуд вычислены для ядер различных спинов. Вычислены вклады однопетлевой поляризации вакуума порядка α^5 в однофотонном взаимодействии и втором порядке теории возмущений. Вычислены вклады двухпетлевой поляризации

вакуума порядка α^6 в однофотонном взаимодействии и втором порядке теории возмущений. Вычислены комбинированные поправки на поляризацию вакуума и структуру ядра из двухфотонных обменных амплитуд. Вычислен вклад двухфотонных обменных амплитуд с радиационными поправками в мюонную линию с учетом структуры ядра порядка α^6 . Полные теоретические значения сверхтонких расщеплений уровней энергии в мюонных ионах лития, бериллия и бора можно использовать для сравнения с будущими экспериментальными данными и для получения более точных значений радиуса Земаха для данных ядер.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 18-12-00128) и РФФИ (грант 18-32-00023) (Ф.А.М. и О.С.С.).

Литература

7. A. Antognini [et al.]. Proton structure from the measurement of 2S-2P transition frequencies of muonic hydrogen. *Science*. Vol. 339. P.417-420 (2013).
8. R. Pohl [et al.] Laser spectroscopy of muonic deuterium, *Science* Vol. 353. P.669-673 (2016)
9. M. Diepold, B. Franke, J. J. Krauth, A. Antognini, F. Kottmann, R. Pohl, Theory of the Lamb Shift and fine structure in muonic 4He ions and the muonic 3He – 4He Isotope Shift, *Ann. Phys.* Vol.396. P.220-244 (2018).
10. A.E. Dorokhov, A.A. Krutov, A.P. Martynenko, F.A. Martynenko, and O.S. Sukhorukova. Hyperfine structure of S states in muonic ions of lithium, beryllium, and boron. *Phys. Rev. A*. 98. P. 042501 (2018).
11. A.A. Krutov, A.P. Martynenko, F.A. Martynenko, and O.S. Sukhorukova, Lamb shift in muonic ions of lithium, beryllium, and boron, *Phys. Rev. A*. 94. P. 062505 (2016).
12. A.A. Krutov, A.P. Martynenko, F.A. Martynenko, and O.S. Sukhorukova. Theory of the Lamb shift in muonic ions μLi , μBe , μB . *Physics of Particles and Nuclei*. Vol.48. P. 832-833 (2017).

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВВЭР-1000

Танаиш Хамза

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»
Tanash_hamza@yahoo.com*

Моделирование нейтронно-физических процессов в активной зоне является сложным из-за многих параметров, которые влияют на физические процессы в реакторной установке. Построение модели с нуля - очень длительный процесс и может накапливать множество ошибок расчета, поэтому люди склонны использовать аттестованные программы и коды, которые специально разработаны для моделирования ядерных реакций в любых средах.

В нашей работе мы рассмотрим на нейтронно-физических процессах в активной зоне ВВЭР-1000 с использованием модели программного комплекса (SKETCH) [1] и (MCU) [2], обе модели построены для блока № 3 Ростовской АЭС поэтому мы будем сравнивать результаты обеих моделей и судить о достоверности результатов, полученных нами из аналитического программного комплекса (SKETCH) и программного комплекса на основе Монте-Карло (MCU).

Построение модели нейтронно-физики для ядерного реактора начинается с определения геометрии активной зоны, состава и плотности материалов в активной зоне, а затем определения констант групп сечений нейтронов, но до этого мы решили определить температуры материалов в активной зоне с использованием аналитического теплогидравлического расчета [3].

Изначально на основе геометрии АЗ, состава и плотности материалов в АЗ и мощности реактора проводился аналитический теплогидравлический расчет для оценки температуры материалов в активной зоне. После этого геометрические характеристики, состав, плотности температуры активной зоны использовались для расчета в программах GETERA и MCU. Групповые константы для проведения трехмерного расчета в программе SKETCH были подготовлены в программе GETERA. Результатами расчета по

программе SKETCH являлись эффективный коэффициент размножения нейтронов, распределение потока нейтронов и энерговыделение в каждой топливной сборке. В MCU не надо подготовить групповые константы, и прямо мы получим эффективный коэффициент размножения, распределение потока нейтронов и энерговыделение в каждой топливной сборке после запустить программу MCU.

В конце данного отчета мы рассмотрим, как изменяется эффективный коэффициент размножения при выгорании ядерного топлива в реакторе при определенном уровне мощности.

Литература:

1. Zimin v.g. sketch-n: a nodal diffusion code for solving steady-state and kinetics problems. Tokyo: japan atomic energy research institute, 2000.
2. Шкаровского д.а. описание применения и инструкция для пользователей программ, собранных из модулей пакета mcsu-5. Москва: б.н., 2010.
3. Пономарев н.н., паневин и.г., назаренко и.п., глушков е.с. методы теплогидравлического расчета ядерных реакторов. Москва : май, 2001.

О РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ РАДИОПУЛЬСАРОВ

Тимиркеева М.А., Малов И.Ф.

ПРАО АКЦ ФИАН, Пуццино

конт. тел.(4967)-318105, e-mail, marika-ko@yandex.ru

В настоящее время достаточно детальные данные получены для 61 радиопульсара из каталога [1], которые излучают в рентгеновском диапазоне [2-3] от 0.1 до 10 кэВ. Проводится сравнение ряда параметров пульсаров, громких и тихих в рентгеновском диапазоне.

Был сделан вывод о том, что жёсткое излучение наблюдается, в основном, у радиопульсаров с высокими значениями dE/dt и B_{lc} . Дальнейший поиск рентгеновского и гамма излучения от этих объектов можно вести целенаправленно, выделив из всей совокупности радиопульсаров источники с указанными особенностями.

Рассмотрена зависимость нетепловой рентгеновской светимости от скорости потерь энергии вращения. Для исследуемой выборки она может быть описана следующим уравнением:

$$\log L_x = (1.17 \pm 0.08) \log \frac{dE}{dt} - 9.46 \pm 2.89$$

Коэффициент корреляции $K = 0.97$ для этой зависимости.

Рентгеновское нетепловое излучение может генерироваться на периферии магнитосферы пульсара за счёт синхротронного механизма, поскольку есть заметная корреляция между рентгеновской светимостью и величиной магнитного поля на световом цилиндре, которая может быть представлена в виде:

$$\log L_x = (1.11 \pm 0.22) \log B_{lc} + 27.09 \pm 0.97$$

Коэффициент корреляции для этой зависимости $K = 0.49$.

Существует корреляция между гамма-светимостью пульсаров и магнитным полем на световом цилиндре. Поэтому следует ожидать заметную корреляцию между гамма- и рентгеновской светимостью. Для сравнения использованы данные из каталога гамма-пульсаров, приведенного в работе [4]. Оказалось, что действительно существует сильная корреляция между L_x и L_γ (рис. 1):

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

$$\log L_x = (1.22 \pm 0.21) \log L_\gamma - 9.67 \pm 7.18$$

Коэффициент корреляции $K = 0.77$. Также есть некая зависимость между величинами L_x/d^2 и L_γ/d^2 :

$$\log \left(\frac{L_x}{d^2} \right) \left(\frac{erg}{s \text{ cm}^2} \right) = (0.60 \pm 0.27) \log \left(\frac{L_\gamma}{d^2} \right) \left(\frac{erg}{s \text{ cm}^2} \right) - 5.88 \pm 2.53$$

коэффициент корреляции $K = 0.40$.

Это дает возможность целенаправленного поиска новых пульсаров от источников с зарегистрированным излучением в одном из этих диапазонов.

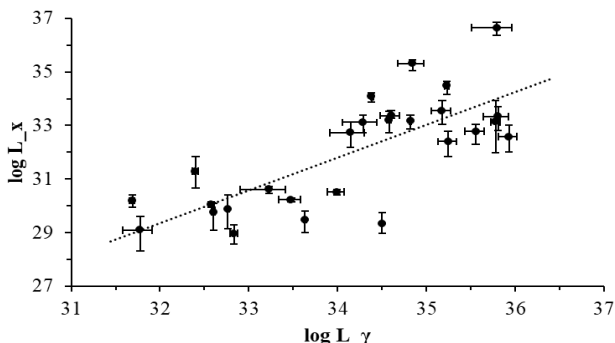


Рис.1. Зависимость рентгеновской светимости радиопульсаров от их гамма-светимости

Литература

1. R.N. Manchester, G.B. Hobbs, A. Teoh, M. Hobbs. The Australia Telescope National Facility Pulsar Catalogue. Astron.J. Vol. 129. P. 1993-2006 (2005).
2. A. Possenti, R. Cerutti, M. Colpi, S. Mereghetti. Re-examining the X-ray versus spin-down luminosity correlation of rotational powered pulsars. A & A. Vol. 387. P.993-1002 (2002).
3. T. Prinz, W. Becker. A Search for X-ray Counterparts of Radio Pulsars. ArXiv1511.07713 (2016).
4. A.A. Abdo et al, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., V. 208, P. 17, (2013).

**СВИДЕТЕЛЬСТВА ЧЕТВЕРНОГО КЛАСТЕРНОГО
РАСПАДА $^{252}\text{Cf}(\text{SF})$**

***Томас А.Д.¹, Пятков Ю.В.^{1,2}, Каманин Д.В.², Александров А.А.²,
Александрова И.А.², Горьянова З.И.², Кузнецова Е.А.²,
Стрекаловский А.О.², Стрекаловский О.В.², Жучко В.Е.²***

*¹Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ
(Московский инженерно-физический институт) Москва, Россия*

*²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
+79639923923, misstthomas@mail.ru*

Данная работа посвящена обнаружению ранее неизвестного канала распада тяжелых слабовозбужденных ядер. В наших экспериментах, посвященных поиску проявлений многочастичных распадов слабо возбужденных ядер [1–3], фактически регистрировались два фрагмента, в то время как дефицит их общей массы по сравнению с массой материнской системы («потерянная» масса) служил признаком того, что распад был не менее чем на три кластера. Обнаруженные фрагменты разлетаются почти коллинеарно, и, по крайней мере, один из них характеризуется магическим составом нуклонов. Этот канал распада был назван «тройным коллинеарным кластерным распадом (ТККР)», чтобы подчеркнуть сходство с известной кластерной или «свинцовой радиоактивностью». Одна из наиболее выраженных наблюдаемых мод распада уже обсуждалась в наших предыдущих публикациях [4, 5].

Выявленные особенности процесса позволяют предположить, что в этом случае имеет место, вероятно, истинно четверное деление. Термин «истинное» используется, чтобы подчеркнуть, что все продукты распада имеют сравнимые массы (по аналогии с известным термином «истинно тройное деление»). Такого рода распад слабовозбужденных тяжелых ядер ^{252}Cf и ^{235}U наблюдался впервые, поэтому о механизме процесса ничего не известно. Представленный в докладе более глубокий анализ экспериментальных данных дает дополнительные аргументы в пользу четверного характера распада.

Литература

1. Pyatkov Yu V et al. 2010 Eur. Phys. J. A **45** 29
2. Pyatkov Yu V et al. 2012 Eur. Phys. J. A **48** 94
3. Kamanin D V, Pyatkov Yu V 2013 Clusters in Nuclei Lecture Notes in Physics 875 vol. 3 ed. C. Beck p. 183
4. Kamanin D V et al. 2017 in Proc. of the Int. Symposium on Exotic Nuclei “EXON-2016”, Kazan, Russia, 2016, 243
5. Pyatkov Yu V et al. 2017 J. Phys.: Conf. Series **863** 012046

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КРИТИЧЕСКОГО ЧИСЛА РЭЛЕЯ ОТ ДИАМЕТРА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Тюрина И.А., Кузьменков Д.М., Делов М.И., Куценко К.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

+7(968)742-51-14, ira-tyurina@mail.ru

Исследование кризиса теплоотдачи в различных жидкостях является важной физической задачей и представляет интерес при проектировании энергонапряженного теплообменного оборудования. В работе [1] описана физическая модель, описывающая критерии наступления нестационарного кризиса кипения в криогенных жидкостях. Модель основана на предположении, что свободная конвекция успеет развиваться раньше наступления кипения жидкости, то нестационарный кризис теплоотдачи не произойдет, а критический тепловой поток будет определяться значением первого критического теплового потока. В качестве критерия развития конвекции принято считать достижение критического числа Рэлея.

Данная работа посвящена численному исследованию возникновения конвекции на поверхности цилиндрических нагревателей и определению зависимости критического числа Рэлея от диаметра нагревателя.

Моделирование проводилось в пакете STAR-CCM+. Осуществлялось прямое численное решение нестационарного уравнения Навье-Стокса в большом объеме жидкости вокруг нагревателя с заданным тепловым потоком. Типовые поля скоростей и температур жидкости показаны на рисунках 1 и 2. Факт развития конвекции для каждого диаметра нагревателя определялся по отклонению решения уравнения Навье-Стокса от решения задачи нестационарной теплопроводности в той же геометрии. В качестве характерного размера в определении числа Рэлея использовалась толщина теплового пограничного слоя жидкости вокруг нагревателя.

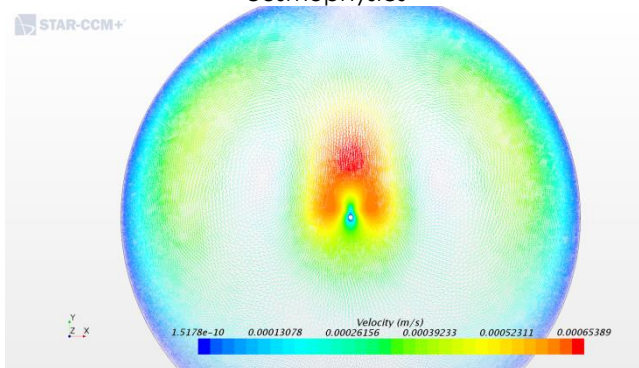


Рис.1. Поле скоростей жидкости вокруг цилиндрического нагревателя диаметров 50 мкм.

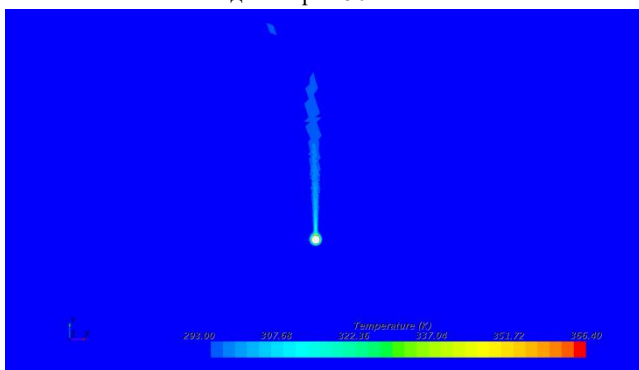


Рис.2. Поле температур вокруг цилиндрического нагревателя диаметров 1 мм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16- 19-10548).

Литература

1. B.V. Balakin, M.I. Delov, D.M. Kuzmenkov, et. al. Boiling crisis in cryogenic fluids during unsteady heat supply. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 111. P. 1107-1111 (2017).

**РАЗВИТИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕСТОВОЙ
ЗАДАЧИ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММЫ MCU-PTR
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СУПЕРКРИТИЧЕСКОГО
ВОДООХЛАЖДЕМОГО РЕАКТОРА HPLWR**

Ф. Т. Фам^{а, б}, Г. В. Тихомиров^б

*а - Ядерный Исследовательский институт, Нгуен Ты Лык 1,
Далат, Вьетнам*

*б - Кафедра теоретической и экспериментальной физики ядерных
реакторов, Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ» Каширское шоссе 31, Москва, Россия*

Концепция суперкритического водоохлаждаемого реактора представляет собой последнюю эволюцию существующих легководных реакторов (реакторов с водой под давлением, реакторов с кипящей водой и реакторов тяжелой воды под давлением) и выбрана в качестве одной из шести технологий для дальнейшего развития в рамках поколения IV. Водоохлаждаемый реактор эксплуатируется при высокой температуре под высоким давлением, с параметрами теплоносителя (вода) над термодинамической критической точкой воды (374 °C, 22,1 МПа). В статье представлены результаты нейтронно-физического анализа для суперкритического водоохлаждаемого реактора HPLWR (High Performance Light Water Reactor) [1], использованием программы MCU-PTR (Универсальный Монте-Карло) [2]. На этом этапе внимание было уделено распределению мощности реактора в зависимости от температуры теплоносителя, замедлителя и топлива. Результаты расчета аксиального распределения нормированной мощности для трех модели ТВСов в разных зонах (испаритель, пароперегреватель 1, пароперегреватель 2) при равномерном распределении температуры топлива показано, что пик мощности расположен в области, где усредненная плотность по объему теплоносителя выше (увеличение потока тепловых нейтронов). Но при изменении температуры топлива на распределение $T_{топл.1}$, пик мощности движется из области выше усредненной по объему плотности теплоносителя в область, где температура топлива самый

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

ниже (резонансное уширение в основном U238 и температура топлива действует как отрицательная обратная связь). Результаты, полученные по программе MCU-PTR, хорошо согласуются с результатами программы MCNP5.

Список литературы

- [1] Thomas Schulenberg, Jörg Starflinger (eds.), HIGH PERFORMANCE LIGHT WATER REACTOR Design and Analyses, KIT Scientific Publishing 2012, ISBN 978-3-86644-817-9.
- [2] M.I. Gurevich, D.A. Shkarovsky, Neutron transport calculation by the Monte-Carlo method on the MCU code, Study guide NRNU MEPhI, Moscow, 2012, p. 154.

НОВЫЙ ВЫСОКОСЕГМЕНТИРОВАННЫЙ БЛИЖНИЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА T2K

Федотов С., Костин А., Смирнов А.

*Институт ядерных исследований РАН
+7-916-161-41-95, fedotov@inr.ru*

Основная цель нейтринного эксперимента с длинной базой T2K – точное измерение параметров нейтринных осцилляций путем наблюдения появления ν_e и исчезновения ν_μ в пучке ν_μ . T2K начал собирать данные для физического анализа в январе 2010 года. Открытие и исследования нейтринных осцилляций привели к присуждению «Breakthrough Prize for Fundamental Physics» в 2016 году. В 2017 году коллаборация T2K запустила проект модернизации ближнего детектора, которая нацелена на уменьшение систематических ошибок при поиске CP-нарушений в нейтринном секторе.

Сцинтилляционный детектор ND280 (FGD) представляет собой множество баров, расположенных перпендикулярно оси пучка. Геометрия оптимизирована для детектирования частиц, распространяющихся в прямом направлении, что приводит к зависимости от направления для нейтринных событий. Для достижения более изотропной чувствительности, в качестве новой нейтринной мишени предлагается использовать новый сцинтилляционный детектор (SuperFGD [1,2]) со считыванием сигнала в 3D-геометрии по средствам WLS-волокон.

SuperFGD будет установлен выше по линии пучка между двумя время-проекционными камерами в дополнения к существующим детекторам FGD. Размер нового детектора ограничен доступным пространством внутри магнита. Детектор будет состоять из сцинтилляционных кубиков $1 \times 1 \times 1 \text{ см}^3$ с тремя ортогональными отверстиями. Полные размеры детектора $192 \times 192 \times 56 \text{ см}^3$. При такой конфигурации SuperFGD будет состоять более чем из $2'000'000$ кубиков $1 \times 1 \times 1 \text{ см}^3$ и иметь около $60'000$ каналов считывания.

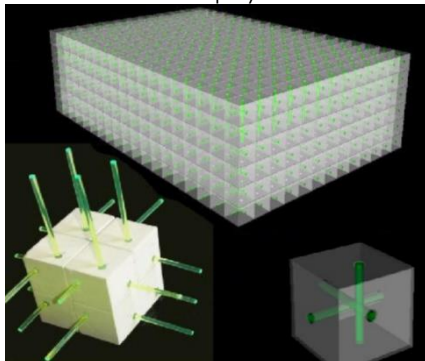


Рис.1. Схема детектора SuperFGD

Группа из 8 кубиков на Рис.1. иллюстрирует метод считывания сигнала. Одно волокно проходит через линию кубиков, сигнал с одной стороны волокна снимается фотоумножителем, а другой конец покрыт отражателем. И каждый из кубиков просматривается 3-мя ортогональными волокнами.

Литература

1. O. Mineev,... et al. Beam test results of 3D fine-grained scintillator detector prototype for a T2K ND280 neutrino active target // **arXiv:1808.08829** accepted for publication in NIM
2. Blondel,... et al. A fully-active fine-grained detector with three readout views JINST February 2018 13(02):P02006-P02006

АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ К ВОДЕ ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Хассан А.А., Деев В.И., Баисов А.М.

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет
« НИЯУ МИФИ », Москва*

конт. тел: +7(916)244 96 26 , e-mail: ahmed_hamdy842@yahoo.com

Проблема, которая должна быть решена для разработки реакторов со сверхкритической водой под давлением, заключается в том, чтобы температура топливного элемента и оболочки оставалась приемлемой при нормальной эксплуатации, переходных режимах и авариях. Практическая проблема здесь сводится к тому, чтобы предложить достоверное соотношение, выявленное опытным путем, которое позволит предсказать коэффициент теплопередачи для реакторов, охлаждаемых водой сверхкритического давления.

Основная трудность описания теплообмена связана с тем, что при сверхкритическом давлении теплофизические свойства воды существенно и своеобразно меняются в зависимости от температуры и давления, вместе с нормальными режимами теплообмена, режимы с ухудшенным, а иногда и улучшенным теплообменом могут возникать при определенных условиях. Чтобы избежать значительного повышения температуры оболочки, такие режимы допускаются не в активной зоне реактора, а вне активной зоны.[2]

После выбора режимных и конструктивных параметров реакторной установки возникает проблема использования наиболее подходящего критериального уравнения для расчета теплообмена.

Для режимов нормального теплообмена и для жидкостей с постоянными свойствами в случае турбулентного течения жидкости в трубах часто используется соотношение Диттуса – Болтера:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (1)$$

Для учета изменения свойств теплообменной среды вблизи критической точки, теплофизические параметры в базовом уравнении рассчитываются по определенным правилам и, при необходимости, дополнительно корректируются (поправки). Обычно эти поправочные коэффициенты к исходному уравнению

имеют форму отношения параметров среды при температуре стенки и средней температуре массы жидкости в определенной степени. [1]

При сравнении уравнений ((1), (формула Бишоп (2)), (формула Свенсона (3)), (формула Джексона и Фьюстера (3)), (формула Ченга (4)), (формула Мокри (5)), (первая формула Деева (6)) и (вторая формула Деева (7))) использовались результаты эксперимента, представленные в [3]. Так как формулы содержат теплофизические параметры воды при температуре стенки, которая вначале неизвестна, процедура расчетов включает итерационный, пошаговый процесс, который необходимо продолжать до тех пор, пока не будет достигнута необходимая точность расчетов. В данном случае было задано следующее условие: итерационный счет прекращается, когда разница между температурой стенки, полученной в расчетах на предыдущем шаге, и температурой стенки на последующем шаге не превышает $0,1^{\circ}\text{C}$. Каждое из выше уравнений будет использовано для получения коэффициента теплопередачи. Затем результаты расчетов будут сравниваться с экспериментальными данными на основе среднеарифметического (σ_a) и среднеквадратичного отклонении (σ_{KB}), где:

$$\xi_K = (\alpha_{\text{расчет}} / \alpha_{\text{экс}}) \quad (8)$$

$$\sigma_a = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N (\xi_K - 1) \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{KB}} = \frac{1}{\sqrt{N-1}} \sqrt{\sum_{K=1}^N (\xi_K - 1)^2} \quad (10)$$

Среднеквадратичные отклонения для всех уравнений при различных тепловых потоках приведены в таблице 1 и рисунке 1.

Таблица 1. Среднеквадратичные отклонения для всех уравнений при различных тепловых потоках

	Формула , (1)	Формула , (2)	Формула , (3)	Формула , (9)	Формула , (5)	Формула , (6)	Формула , (7)	Формула, (8)
q = 200 кВт/м²	0,107	0,093	0,272	0,164	0,115	0,351	0,277	0,165
q = 400 кВт/м²	0,14	0,093	0,416	0,153	0,21	0,35	0,102	0,137

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

$q = 600$ кВт/м ²	0,252	0,092	0,525	0,11	0,321	0,322	0,199	0,116
$q = 800$ кВт/м ²	0,324	0,093	0,547	0,11	0,591	0,253	0,337	0,178
$q = 1000$ кВт/м ²	0,361	0,176	0,468	0,215	1,134	0,179	0,25	0,217

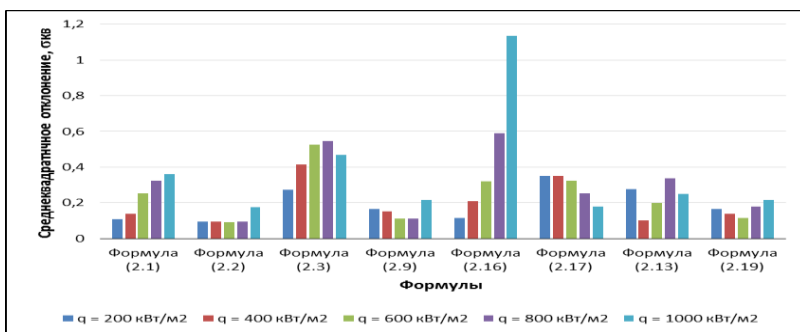


Рисунок 1. Среднеквадратичные отклонения для всех уравнений при различных тепловых потоках

Литература:

1. Pioro I.L., Duffey R.B. Heat transfer and hydraulic resistance at supercritical pressures in power-engineering applications. ASME Press New York. NY, USA, 2007.
2. Деев В.И., Круглов А.Б., Маслов Ю.А., Махин В.М., Харитонов В.С., Чуркин А.Н. Ядерные реакторы с водой сверхкритического давления (основы теплового расчета): Учебное пособие / Под общей редакцией проф. В.И. Деева. – М.: НИЯУ МИФИ, 2015.
3. Experimental investigation of heat transfer from a 2×2 rod bundle to supercritical pressure water / Han Wang , Qincheng Bi , Linchuan Wang , Haicai Lv , Laurence K.H. Leung // Nuclear Engineering and Design 275 (2014) pages 205–218.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ОБЪЕКТОВ
ПРИ АНАЛИЗЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В
РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ СО СВИНЦОВЫМ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ**

Чудинова В.А., Никонов С.П.

*НИЯУ МИФИ, г. Москва
+79255746844, VACHudinova@mephi.ru*

В данной работе продолжают исследования, начатые в работах [1-3], по созданию расчетной модели реакторной установки со свинцовым теплоносителем. В качестве прототипа используется РУ БРЕСТ-ОД-300 [4].

Рассматривается вопрос влияния детализации объектов реактора при их моделировании системой связанных параллельных гидравлических каналов на результаты расчета стационарных и переходных процессов в реакторной установке.

Данный метод моделирования установки позволяет подойти к реальной оценке пространственного распределения параметров теплоносителя в рамках используемого кода ATHLET [5].

Модель включает в себя реактор, четыре петли контура циркуляции с главными циркуляционными насосами (ГЦН), двух секционный парогенератор (ПГ) на каждой петле. Нейтронная физика на данном этапе не рассматривается, энерговыделения задаются как источник тепла с равномерным распределением по активной зоне. Петли второго контура для каждого парогенератора имеют питательный насос, задается сток тепла в петлях второго контура, позволяющий моделировать изменение температуры питательно воды на входе в ПГ.

Основные детали объектов моделирования представлены на рисунке 1. Этапы разбиения внутриреакторных объектов представлены на рисунке 2.

Рассматривается переходный режим с отключением одного из четырех ГЦН с сохранением общей мощности реактора.

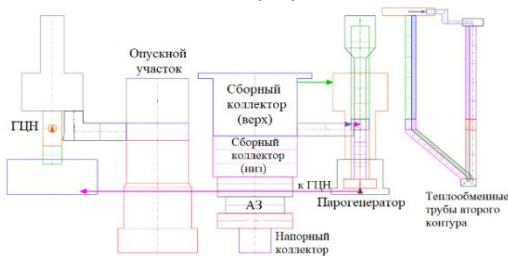


Рис. 1. Деталь расчетной схемы одной циркуляционной петли со вторым контуром

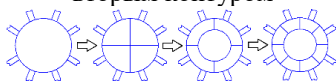


Рис. 2. Схематическое представление разбиения на примере раздаточного коллектора

Литература

1. Chudinova V.A., Nikonov S.P., Thermal-hydraulic model of the reactor facility with lead coolant in the ATHLET code, ICNRP Volga-2018, International conference for young scientists, specialists and post-graduates on Nuclear Reactor Physics, September, 2018г., IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1133 (2018) 012013 doi :10.1088/1742-6596/1133/1/012013

2. Чудинова В.А., Никонов С.П., Теплогидравлическая модель реакторной установки со свинцовым теплоносителем, научно-техническая конференция «Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики (НЕЙТРОНИКА-2018)», Обнинск, 2018г.;

3. Чудинова В.А., Никонов С.П., Влияние детализации внутриреакторных объектов на моделирование переходных процессов в реакторной установке со свинцовым теплоносителем, XIV международная научно-практическая конференция «БУДУЩЕЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ – AtomFuture 2018», Обнинск, 2018г.;

4. В.В. Лемехов. Технический проект реакторной установки БРЕСТ-ОД-300. Проектное направление «ПРОРЫВ»: результаты реализации новой технологической платформы ядерной энергетики, Москва, 2015г.;

5. H. Austregesilo, H. Deitenbeck, A. Langenfeld, J. Scheuer, P. Schöffel, ATHLET 3.1A, Programmer's Manual, March 2017

МОЩНЫЕ ГЕЛИОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ МАКСИМУМА 24-ГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Щеголева А.Г., Барбашина Н.С., Коновалова А.Ю.,
Мишутина Ю.Н.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Научно-образовательный центр НЕВОД, Москва, Россия
конт. тел. 8-916-961-10-58
e-mail: AGShchegoleva@mephi.ru*

Исследования временных вариаций потока космических лучей (КЛ) на поверхности Земли дают важную информацию о процессах в гелиосфере, вызвавших эти вариации [1]. Исследования вариаций потока мюонов КЛ по данным мюонного годоскопа УРАГАН (МГ УРАГАН) [2] представляют большой интерес. Мюоны чувствительны к высоким энергиям первичных космических лучей (ПКЛ), что открывает возможность изучения гелиосферных возмущений, ответственных за модуляцию высокоэнергичных ПКЛ. Так как мюоны сохраняют направление движения первичных частиц, это позволяет получать пространственно-угловые характеристики модуляций космических лучей в околоземном пространстве и изучать динамику изменения потока мюонов. Координатно-трековый детектор УРАГАН позволяет одновременно регистрировать мюоны, приходящие с любого направления верхней полусферы в пределах апертуры. Это открывает возможность изучать угловые вариации потока мюонов в режиме реального времени с помощью одного детектора. Локальная анизотропия углового распределения потока мюонов описывается с помощью вектора \vec{A} , который представляет собой сумму единичных векторов реконструированных треков отдельных мюонов, нормированную на их число. Вектор \vec{A} получил название вектора локальной анизотропии и указывает среднее направление прихода мюонов за выбранный промежуток времени. Интересным параметром является вектор относительной анизотропии \vec{r} , который представляет собой разность между текущим значением вектора анизотропии \vec{A} и его

средним значением \bar{A}^N . В данной работе рассматривается горизонтальная проекция вектора относительной анизотропии r_h , которая вычисляется по формуле:

$$r_h = \sqrt{r_S^2 + r_E^2}, r_S = A_S - \langle A_S \rangle, r_E = A_E - \langle A_E \rangle, \quad (1)$$

где A_S – проекция на географическую ось север-юг, а A_E – проекция на ось запад-восток.

В работе представлены результаты анализа мощных гелиосферных возмущений за период 2014 – 2018 гг., отобранных по значениям вектора межпланетного магнитного поля (ММП). Рассматривается реакция магнитосферы на выбранные события и их отклик в данных мюонного годоскопа УРАГАН. На рисунке 1 представлены значения вектора ММП и параметры анизотропии r_h , r_S , r_E в период с 2014 по 2018 гг.

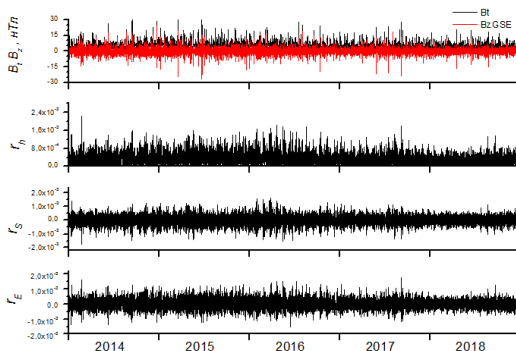


Рис.1. Значения вектора ММП (B_t и B_z) и параметры анизотропии r_h , r_S , r_E в период с 2014 по 2018 гг.

Литература

1. Дорман Л.И., Вариации космических лучей, Гостехиздат, М., 1957, 492 с.
2. Барбашина Н.С. и др. // ПТЭ. 2008. № 2. С. 26.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТОРА ВВЭР – 1000

Элсаламуни Н.

Как известно, наиболее важным функциональным узлом системы автоматического управления являются регуляторы, которые реализуются в микропроцессорной САУ программным путем и являются из-за наличия в системе квантования (во времени и по состоянию) цифровыми регуляторами. Ограничиваясь рассмотрением линейных регуляторов, приведем классификацию цифровых регуляторов.

К параметрически оптимизированным регуляторам относятся классические виды регуляторов типа П, ПИ, ПИД и их модификации.

К структурно оптимизируемым относятся компенсационные регуляторы и регуляторы состояния. Компенсационные регуляторы проектируются с таким расчетом, чтобы снизить влияние некоторых параметров объектов на качество управления.

В схемах управления регулирующей арматурой предусмотрена возможность ручного регулирования. В схемах регуляторов предусмотрена возможность перенастройки параметров регуляторов в процессе эксплуатации. В случае возникновения неисправностей в регуляторах (отключение автомата питания, неисправности пара метров регулирования) управляющее воздействие от регуляторов на исполнительные механизмы отключается, регулятор переходит в дистанционное управление. При этом в СВБУ формируется соответствующий сигнал неисправности регулятора.

В СВБУ оператору от регуляторов поступает следующая информация о работе регуляторов:

- уставки (заданное значение) и текущее значение контролируемого параметра;
- положение исполнительного механизма (регулирующего органа).

К основным регуляторам энергоблока в части СКУ НЭ относятся:

- регулятор давления в первом контуре;

Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics

- регулятор уровня теплоносителя в компенсаторе давления;
- регулятор уровня котловой воды в парогенераторах;
- регулятор давления пара в главном паровом коллекторе;
- регулятор скорости разогрева-расхолаживания первого контура и компенсатора давления.

На этом плакате я расскажу о типах регуляторов и их функциях в реакторах.

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ СОЛНЦА

Юлбарисов Р.Ф., Майоров А.Г.

НИЯУ МИФИ, Москва

+7 (966) 027-43-35, starwarskust@mail.ru

Корональные дыры (КД) - это области открытых магнитных силовых линий на Солнце, которые проявляются в виде темных областей в солнечной короне из-за низкой плотности вещества и температуры по сравнению с окружающей средой (спокойной короной). Исследования солнечной короны проводятся довольно давно и включают как наземные средства наблюдения, так и космические. При этом полученные изображения до недавнего времени анализировались вручную, а положения корональных дыр и некоторые характеристики зарисовывались. В последние годы появились алгоритмы для компьютерной обработки цифровых снимков (SPoCA [1], CHIMERA [2] и др.).

В работе предлагается алгоритм, анализирующий мультиспектральные изображения Солнца, которые сделаны в диапазоне экстремального УФ (171, 193 и 211 ангстрем) прибором AIA на борту Обсерватории солнечной динамики (SDO) [3]. Алгоритм позволяет идентифицировать корональные дыры, определить их границы и многие другие свойства, такие как площадь, положение, широтный и продольный размеры, магнитную полярность и магнитный поток. Точное определение этих характеристик позволяет использовать алгоритм для проведения дальнейшего физического анализа и поиска взаимосвязи наблюдаемых КД с различными физическими эффектами в межпланетном пространстве и магнитосфере Земли.

Среди других алгоритмов сравнимым качеством идентификации КД обладает только алгоритм CHIMERA, с которым наблюдается хорошее согласие.

Литература

1. C. Verbeeck, V. Delouille, B. Mampaey, R. De Visscher. The SPoCA-Suite: Software for extraction, characterization, and tracking of

- Nuclear physics and technologies, particle physics, astrophysics and cosmophysics
- active regions and coronal holes on EUV images. *Astronomy and Astrophysics*. 2014, vol. 561, p. 29-.
2. T.M. Garton, P.T. Gallagher and S.A. Murray. Automated coronal hole identification via multi-thermal intensity segmentation. *J. Space Weather Space Clim*. 2018, vol. 8, A02.
3. R. Lemen, James and other. The Atmospheric Imaging Assembly (AIA) on the Solar Dynamics Observatory (SDO). *Solar Physics*. 2011, vol. 275, p. 17-40.

**Электроника, автоматика,
спинтроника, нанотехнологии**

**Electronics, automatics,
spintronics, nanotechnologies**

DEVELOPING K-ION BATTERIES FOR ENERGY STORAGE

Abramova E.N., Rupasov D.P., Abakumov A.M.

Center for Energy Science and Technology, Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

*contact number, e-mail: 8(916)-043-71-91, overmind11@rambler.ru,
El.Abramova@skoltech.ru*

Energy storage is an urgent problem in the modern world. The 60 times increase of energy storage market is expected by 2030. It stipulates developing novel metal-ion batteries based on inexpensive materials [1]. One of the promising alternatives for this purpose is developing potassium-based materials and relevant technologies. Potassium is naturally abundant and of higher availability in comparison with lithium. These factors result in lower cost of K-ion batteries compared to Li-ion ones.

We developed the first prototype of the K-ion battery based on a systematic and integrated research on both the cathode and anode materials and new advanced electrolytes. The cathode material is $K_2-xMnFe(CN)_6 \cdot yH_2O$ (K-MnHCFE). It is prepared with a precipitation technique from aqueous solutions and inexpensive and easily available reagents. Synthesis techniques were scaled up to prepare large quantities of hexacyanoferrate-type cathode material. The structure of the cathode material was controlled with XRD. Electrochemical characterization revealed the capacity of K-MnHCFE cathode in a K half-cell of 100-120 mAh/g with sustainable cycling behavior.

Carbonaceous anode material is produced with hydrothermal synthesis from sugars. It demonstrates the capacity of about 250 mAh/g and good cycling stability. Electrode coating procedures and cathode/anode mass ratio were optimized resulting in a full K-ion cells delivering up to 250 Wh/kg (per active material) specific energy at 30 mA/g discharge rate.

Literature

1. H. Han. Three to tango requires a site-specific substitution: Hetero: tri metallic molecular precursors for high-voltage rechargeable batteries. Chemical science. Vol. 10. Issue 2. P. 524-534 (2019).

THE STUDY OUTLINES THE REGULATION OF VVER – 1000 REACTOR LEVEL CONTROL IN THE DEAERATOR OF BORIC REGULATION TKC71

Dghaimat L.H., Tolokonnskiy A.O.

*National Research Organization Nuclear University "MEPhI", Moscow
e-mail: Luna.h.d@outlook.com*

WVER is an abbreviation for ‘water water energy reactor. It is a pressure vessel type nuclear reactor with water used both as moderator and coolant, resulting in a thermal neutron spectrum. The number following the reactor type usually indicates the rated power of the unit. Thus, WVER-1000 designates a unit with 1000 MW electrical power[1].

Water is used as coolant and slow for reactor neutrons, and it is used in a complex set of technological processes aimed at maintaining the quality of the working environment in accepted values, the most important of which is a first-cycle feed-clean-up system (TC) This system includes the deaerator which operates deoxidization of water [2].

The deaerator is divided into two types: The Deaerator (ДП) and the Deaerator of Boron Regulation (ДБР), which degasses the “clean” condensate coming from the distillate pumps [3].

In this thesis, we will discuss the level control in the boron deaerator TKC71 for boron control to maintain the specified level in the boron deaerator of development in all operating modes of the reactor WVER [4].

The object of the study is the level control in the boron deaerator in the circuit. and the subject of the research is the presentation of the structural scheme of the regulator in terms of Get-R in the structural mathematical model in the form of typical units, obtaining a structural mathematical model of the control object and the regulatory body. Conduct a simulation of the management and control of objects in the MATLAB environment. The goal of the work is to obtain a structural-mathematical model of the control system and the characteristics of the control object of control circuits should correspond to the actual control circuits of the VVER-1000 reactor.

Literature

1. Бахтин А. А , Антонова А.М. модернизация системы продувки-подпитки ввэр-1000 , Энергетический Институт , 2016,16 с.
2. S.Gomathy , Mrs.T.Anitha . Deaerator Storage Tank Level & Deaerator Pressure Control Using Soft Computing, IJSART – Vol. 1. Issue P. 2395-1052 (2015).
3. International Atomic Energy Agency (IAEA). WWER-1000 Reactor Simulator IAEA, VIENNA, 2003 IAEA, TCS-21. ISSN 1018–5518(2003) ,1 с.
4. Денисов В.П., Драгунов Е.Г. Реакторные установки ВВЭР для атомных станций.М., ИздАТ, 2002, 480 с.

GALLIUM NANOPARTICLE-MEDIATED REDUCTION OF BRAIN SPECIFIC SERINE PROTEASE-4 IN AN EXPERIMENTAL METASTATIC CANCER MODEL

Moustafa E.M.¹*, Mohamed M A.², Thabet N.M.¹

¹ Radiation Biology Department

² Drug Radiation Research Department

National Center for Radiation Research and Technology, Atomic Energy

Authority, Cairo, Egypt.

*For Correspondence: inas.mahmoud@live.com

Purpose: Tumor growth and metastasis depend on angiogenesis; therefore, efforts are being made to develop specific angiogenic inhibitors. Gallium (Ga) is the second most common metal ion, after platinum, used in cancer treatment. Its activities are numerous and various. In the present study, we aimed to investigate the effect of Ga on brain metastasis arising from hepatocellular carcinoma (HCC). **Materials and methods:** Forty experimental rats (divided into 4 groups) received diethylnitrosamine (DEN) at a dose (20 mg/kg.b.wt.; for 6 weeks) to induce HCC and were treated with Ga nanoparticles (GaNPs) with the bacterium *Bacillus licheniformis* (1mg/kg.b.wt.). Liver functions (alanine aminotransferase; (ALT), aspartate aminotransferase; (AST) and gamma glutamyl transferase; (GGT) and alpha-fetoprotein (AFP)) were assessed with histopathological examination of liver sections to confirm the induction of HCC. In addition, brain-specific serine protease 4 (BSSP4), extracellular signal-regulated kinase (ERK), a microtubule-associated protein (Tau), vascular endothelial growth factor (VEGF), vascular cells adhesion molecule-1 (VCAM-1), cytochrome P450 (CYP450), lipid peroxidation (MDA) and glutathione-S-transferase (GST) were measured in brain tissue. **Results:** GaNPs ranged from 5 to 7 nm. HCC was confirmed by elevation in liver enzymes and AFP. Additionally, histopathological examination of liver showed focal area of anaplastic hepatocytes with other cells forming acini associated with fibroblastic cell proliferation. In brain, compared to the DEN alone group, we found that GaNPs modulated brain metastasis by reducing CYP450 and BSSP4 mRNA, and protein expression of p-ERK and p-Tau, and angiogenesis mediators (VEGF and VCAM-1). Also, GaNPs elevated lipid peroxidation and GST activity. **Conclusion:** It is concluded that GaNPs

Electronics, automatics, spintronics, nanotechnologies may prevent metastasis via inhibition of BSSP4 mRNA expression leading to suppression of a variety of growth factors and cell adhesion molecules involved in tumor growth and angiogenesis.

Keywords: DEN- GaNPs- AFP- BSSP4- p-ERK- VEGF

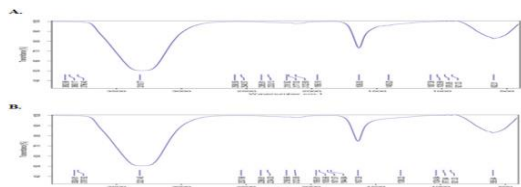


Figure 1. FTIR Analysis of GaNPs Showing Diffeent Stretches of Bonds Shown at Different Peaks. A) extracellular extract of Bacillus licheniformis and B) GaNPs formation

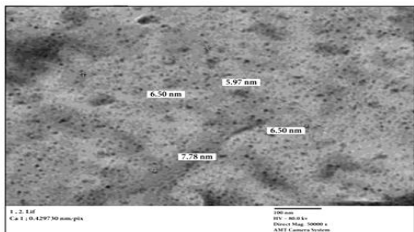


Figure 2. TEM Image of GaNPs Showing Nanoparticles of Spherical Shape with Diameter Range between 5 and 7 nm

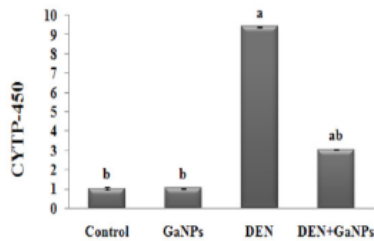


Figure 4. Effect of Ganps on Gene Expression of CYP450 By qrt-PCR Analysis. Each value represents the mean \pm SE (n=6). a: significantly different from control at $p<0.05$. b: significantly different from DEN at $p<0.05$.

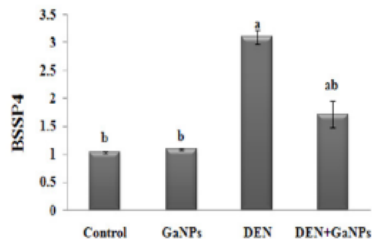


Figure 5. Effect of GaNPs on Gene Expression of BSSP4 by qRT-PCR Analysis. Each value represents the mean \pm SE (n=6). a: significantly different from control at $p<0.05$. b: significantly different from DEN at $p<0.05$.

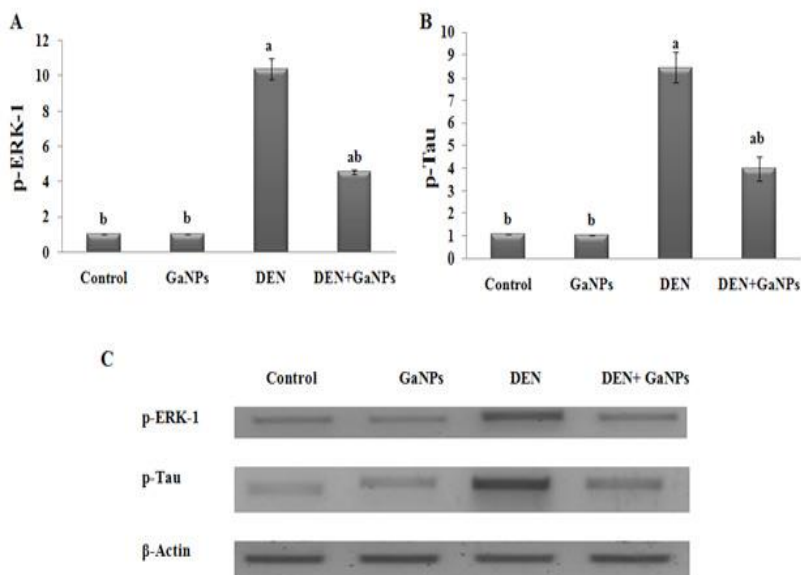


Figure 6. Effect of GaNPs on Protein Expression of A) p-ERK-1 and B) p-Tau by western blot analysis. C) PAGE of p-ERK-1 (44 kDa), p-Tau (64 kDa) proteins and β -actin (42 kDa) as housekeeping protein. Each value represents the mean \pm SE (n=6). a: significantly different from control at $p < 0.05$. b: significantly different from DEN at $p < 0.05$

TUNING OF ELECTRONIC PROPERTIES OF C₂₀ CAGE VIA MULTIPLE DOPING: DENSITY FUNCTIONAL STUDY

Salem M.A.

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 115409 Moscow, Russia

Department of Physics, Faculty of Science, Zagazig University, 44519 Zagazig, Egypt

конт. Тел. +79858372835, e-mail, masalm&zu.edu.eg

Fullerene C₂₀ represents one of the most active classes of nanostructures, and it has been used as an active material for important applications. As a result of their relevant physical and chemical properties, fullerenes become essential structures for the future of nanosystems and the electronic applications, for instance nanosensor devices, superconductors, spintronic devices, and photoelectric solar cells.

In this study, as a continuous work of our study of the nanostructure properties [1], we have carried out first principles calculations of the structural and electronic properties of the doped fullerenes C₂₀ cage using density functional theory (DFT) at the B3LYP/6-31G* level through the Gamess program packages. The doping effect has been investigated by varying the type of dopants and by considering the possible doping positions for the same number. Five positions [2] of the three structures BMgC₁₈, C₁₈BGe and C₁₈GeMg are induced for illustrations of their electronic properties as presented in Table 1.

Table 1. Calculated energy HOMO-LUMO gaps (E_g) for substituted C₂₀ cage with the exchanged impurities (BMg, BGe and Ge Mg).

Structure	HOMO-LUMO energy gap (eV)		
	C ₁₈ BMg	C ₁₈ BGe	C ₁₈ GeMg
Iso-1	1.714	1.880	2.076
Iso-2	1.829	1.959	1.853
Iso-3	1.750	1.788	1.899

Iso-4	2.275	2.204	1.600
Iso-5	1.118	1.116	3.137

The HOMO energies, Fermi level energies, LUMO energies, and energy gaps represent important factors in describing the electronic properties and reactivity of nanostructures and nanoparticles. It has been noted that isomers molded by choosing different doping positions differ significantly in the band gap. The band gap is found to be at a maximum ($E_g = 3.1$ eV) when the Ge dopants with Mg are placed together at the far distances to each other. According to the previously studies, there are agreement with our results [3].

In order to deeply understand the changes of electronic properties of C_{20} cage, it is necessary to calculate the electronic density of state (DOS) of the C_{20} cage before and after substituting carbon atoms with the impurities. Figure 1 shows that the DOS analysis, which consists the energy difference for the HOMO, LUMO and the energy gap ($E_g = 1.861$ eV) of C_{20} cage. These interesting results provide for the possibility of designing the band gap of a fullerene C_{20} cage as required, and for its application in nanoelectronic and solar cell devices.

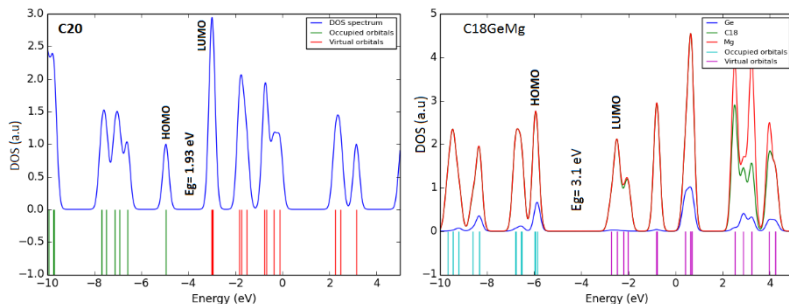


Fig. 1. Density of state (DOS) of C_{20} cage and $C_{18}GeMg$.

References

1. M.A. Salem, K.S. Grishakov, M.A. Gimaldinova // Bulletin of the Lebedev Physics Institute Vol. 45 2018 P.227-229.
2. K.P. Katin, M.M. Maslov // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures Vol. 96 2018 P.6-10.
3. M. Abedi, H.R. Shamlouei // Bulletin of Materials Science Vol. 41 2018 P.137.

MODEL PREDICTIVE CONTROLLER (MPC)

Zaher.L, Abdulraheem K.K, Korolev S.A.

*Национальный исследовательский ядерный университет «НИЯУ
МИФИ», Москва, Россия*

Конт. тел: +79104594273, e-mail: laidani.zahir@gmail.com,

Конт. тел: +79169374076, e-mail: kamalabdulraheem@gmail.com,

Model predictive controllers have been used in the process industry since the 1980s. With the increasing computing power of microprocessors, their use has spread to other fields as well [1].

MPC has all these benefits, but something to note is that it requires a powerful, fast processor with a large memory. MPC is a feedback control algorithm that uses a model to make predictions about future outputs of a process [2].

MPC uses the model of a system to predict its future behavior, and it solves an online optimization algorithm to select the best control action that drives the predicted output to the reference [3].

In this paper, an MPC controller with a position servomechanism is simulated and configured in MATLAB Simulink. This second order control system is used as a test bed to find optimal sequence of control inputs that drive the predicted plant output to track setpoint, by changing prediction horizon and control horizon under some constraints.

References:

1. Allgower, Frank, Rolf Findeisen, and Zoltan K. Nagy. "Nonlinear model predictive control: From theory to application." Journal-Chinese Institute of Chemical Engineers 35.3 (2004): 299-316.
2. De Keyser, Robin. "Model based predictive control for linear systems." Control Systems, Robotics and AutomationN-Volume XI: Advanced Control Systems-V (2009): 24.
3. Taemiriosgouee, Ahmad. "Investigation of Model Predictive Control (MPC) for Steam Generator Level Control in Nuclear Power Plants." (2016).

Electronics, automatics, spintronics, nanotechnologies

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ
СТРУКТУР НА ОСНОВЕ C₆₀ В ИК ДИАПАЗОНЕ**

Арутинов Н.Э., Гурченко В.С.

*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Физико-технический институт, Симферополь
+79787200069, kintiri1997@gmail.com*

Одно из перспективных направлений создания современных микро- и нанoeлектронных устройств связано с многообразием углеродных форм, которое позволит создавать гибкие электронные приборы. Зачастую, основными элементами таких устройств являются тонкопленочные проводящие материалы, а также органические полимеры, которые в силу особенностей органических функциональных групп могут приобретать свойства диэлектриков, полупроводников и проводников. В особенности интересны полупроводниковые свойства композитных структур полимеров и фуллеренов, в которых последние выполняют роль акцепторов. В связи с этим очень важно понимать молекулярную структуру таких материалов.

Таким образом целью наших исследований является изучение структуры тонкопленочных материалов на основе фуллеренов [1] методом ИК-спектроскопия [2]. В качестве исследуемых образцов использовались пленки, полученные методом осаждения жидкой фазы фуллеренсодержащих материалов из растворов бензола, толуола, четыреххлористого углерода, хлороформа и дихлорметана на покровные стекла.

ИК-спектрограмма данных образцов (рис. 1) показывает, что в различных растворителях помимо фуллерена образуются примесные вещества, которые значительно изменяют характеристики пленки в целом, например, образец C₆₀ в хлороформе показал несимметричную проводимость в прямом и обратном направлениях.

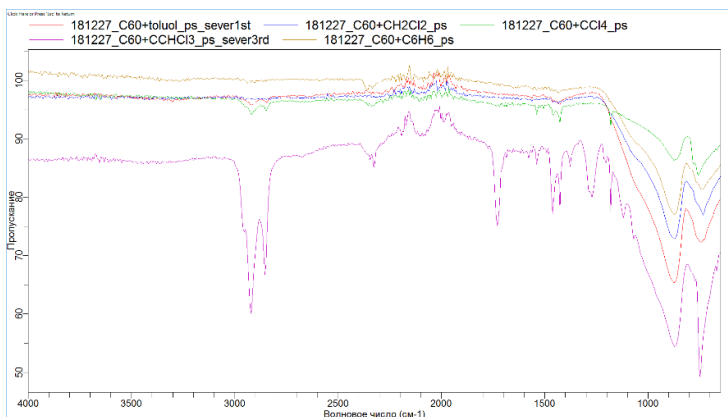


Рис.1. ИК-спектрограмма тонких пленок из растворов фуллерена C_{60}

Таким образом в результате работы были исследованы тонкие пленки на основе C_{60} в различных растворителях. В результате были сделаны выводы о молекулярном строении пленок, качестве растворения фуллерена в каждом растворителе, а также количестве и составе примесей в последних. Спектр пропускания образцов также позволяет оценить толщину пленки по изменению интенсивности полосы поглощения стекла.

Литература

1. Мазинов А.С., Гурченко В.С., Тютюник А.С., Шевченко А.И. Влияние структурных особенностей фуллеренсодержащего материала на его резистивные свойства при осаждении из раствора ISSN 1729-5459. Экологический вестник научных центров ЧЭС. Т. 15. №4. С. 85–92 (2018).
2. Sadia Afreen, Ken Kokubo, Kasturi Muthoosamy, Sivakumar Manickam. Hydration or hydroxylation: direct synthesis of fulleranol from pristine fullerene [C_{60}] via acoustic cavitation in the presence of hydrogen peroxide. RSC Adv. Vol.7. 31930–31939 (2017).

ПЕРПЕНДИКУЛЯРНАЯ МАГНИТНАЯ АНИЗОТРОПИЯ В СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ Dy/Co

***Баркалова А.С.^{1,2}, Савицкий А.О.², Дровосеков А.Б.²,
Крейнес Н.М.², Макарова М.В.³, Проглядо В.В.³, Кравцов Е.А.³***

¹ *Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва*

² *Институт физических проблем им. П.Л.Капицы РАН, Москва*

³ *Институт физики металлов им. М.Н.Михеева УрО РАН, Екатеринбург
тел. +7 (968) 600-14-49, e-mail: anastasiyabarkalova96@mail.ru*

Ферромагнитные наноструктуры являются перспективными материалами для приложений в технологии магнитной памяти [1]. Слоистые ферромагнетики на основе переходных и редкоземельных металлов интересны возможностью реализации в них скирмионов [2] – вихревых спиновых состояний, использование которых для передачи и хранения информации является перспективным направлением спинтроники. Система Dy/Co представляет потенциальную возможность реализации таких состояний, благодаря наличию в ней перпендикулярной магнитной анизотропии (ПМА) [3] и возможности геликоидального магнитного порядка в слоях Dy [4].

Настоящая работа направлена на исследование механизмов магнитной анизотропии и условий реализации ПМА в сверхрешетках Dy/Co. Серия образцов [Dy/Co]₄₀ с различными толщинами слоев Dy и Co в диапазоне 6–30 Å выращена методом магнетронного напыления. Магнитные свойства системы исследуются методами статической магнитометрии и ферромагнитного резонанса (ФМР).

На рис. 1 представлены результаты измерений для одного из образцов серии. Экспериментальные данные описываются моделью с учетом трех вкладов в энергию магнитной анизотропии системы:

$$E_A = -H_1 M_z + \frac{H_2}{2M} M_z^2 + \frac{H_4}{4M^3} M_z^4, \quad (1)$$

где M_z – компонента намагниченности, перпендикулярная пленке, H_1 – эффективное поле ПМА, возникающее на интерфейсах Dy-Co, H_2 и H_4 – эффективные поля объемной анизотропии типа “легкая

плоскость” 2-го и 4-го порядка. Для рассмотренного образца значения эффективных полей: $H_1 \approx 11$ кЭ, $H_2 \approx 18$ кЭ, $H_4 \approx 7$ кЭ. Отметим, что конкуренция различных типов анизотропии приводит к выходу намагниченности из плоскости пленки в нулевом поле на угол $\theta < 90^\circ$, что объясняет наличие остаточной намагниченности образца на кривой $M(H)$ как в касательном, так и в нормальном поле (см. рис. 1а). Данные ФМР (рис. 1б) подтверждают применимость рассмотренной модели магнитной анизотропии системы.

Работа финансово поддержана РФФИ (проект №18-37-00182).

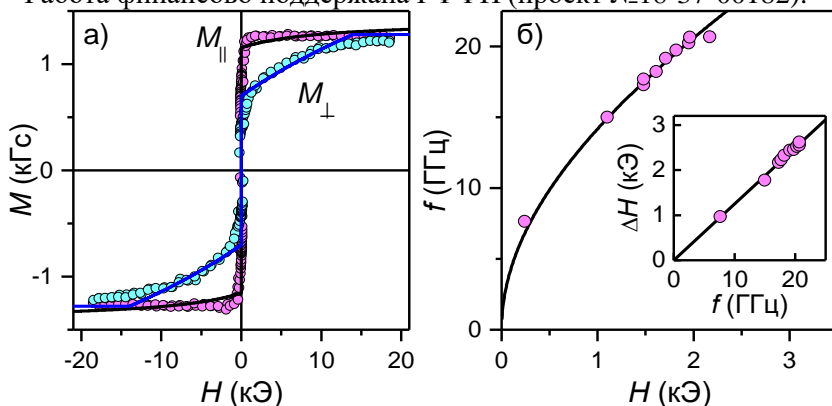


Рис.1. а) Кривые намагничивания слоистой структуры Dy(30Å)/Co(12Å) в касательном (M_{\parallel}) и нормальном (M_{\perp}) поле. б) Частота ФМР как функция поля, приложенного в плоскости структуры. На вставке – частотная зависимость ширины линии ФМР. Точки – эксперимент, линии – расчет

Литература

1. F. Radu, J. Sánchez-Barriga. Ferrimagnetic Heterostructures for Applications in Magnetic Recording (in “Novel Magnetic Nanostructures”, Elsevier, 2018).
2. J.C.T Lee *et al.* Appl. Phys. Lett. 109, 022402 (2016).
3. Z.S. Shan and D.J. Sellmyer. Phys. Rev. B 42, 10433 (1990).
4. A.V. Andrianov *et al.* J. Magn. Magn. Mater. 97, 246 (1991).

СТРУКТУРА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ МОЛЕКУЛАМИ КОРОНЕНА

Белекеев И.А., Беленков Е.А.

*Челябинский государственный университет, Челябинск
+7(919)122-07-29, beleckeyev.ia@mail.ru*

Графеновые наноленты в зависимости от ширины и хиральности могут изменять свои проводящие свойства от полупроводниковых до металлических, что позволяет конструировать на их основе различные наноэлектронные устройства. Наиболее простой способ синтеза графеновых структур это полимеризация молекул, имеющих углеродный каркас [1,2]. Графеновые ленты одинаковой ширины и хиральности с одинаковыми свойствами можно получить в результате полимеризации внутри углеродных нанотрубок, диаметр которых определяет ширину и ориентацию формирующихся в них углеродных наноструктур [1]. В данной работе выполнено моделирование углеродных нанотрубок инкапсулированных молекулами коронена.

Расчеты были выполнены методом молекулярной механики ММ2 для креслообразных (8,8), (9,9), (10,10), (11,11), (12,12) и зигзагообразных (16,0), (20,0) углеродных нанотрубок. Первоначально короненовые молекулы были ориентированы перпендикулярно оси нанотрубок, расстояние между центрами молекул 3,75 Å. Геометрическая оптимизация исходных структур показала, что ориентация молекул коронена, изменяется в зависимости от диаметра нанотрубок (рис.1). Эта зависимость общая для нанотрубок различной хиральности. Основным параметром, влияющий на ориентацию молекул это диаметр нанотрубки. В нанотрубках малого диаметра ($\sim 10,90$ Å), короненовые молекулы выстраиваются в цепочку, так что плоскость молекул становится практически параллельной оси нанотрубки (рис. 1a). При этом происходит деформация нанотрубок и короненовых молекул. С увеличением диаметра нанотрубок (до значений $\sim 12,56$ Å) короненовые молекулы начинают упорядочиваться в стопки, плоскости молекул в которых наклонены под некоторым углом к оси каждой из нанотрубок (рис.1b). При достижении нанотрубками

большого диаметра ($\sim 15,63 \text{ \AA}$) стопки короненовых молекул ориентируются почти перпендикулярно к оси нанотрубок (рис. 1с). Для получения графеновых лент оптимальной ориентаций молекул является их цепочечная ориентация, которая наблюдается в нанотрубках малого диаметра. Поэтому, именно такие нанотрубки предпочтительнее для синтеза графеновых лент постоянной ширины.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

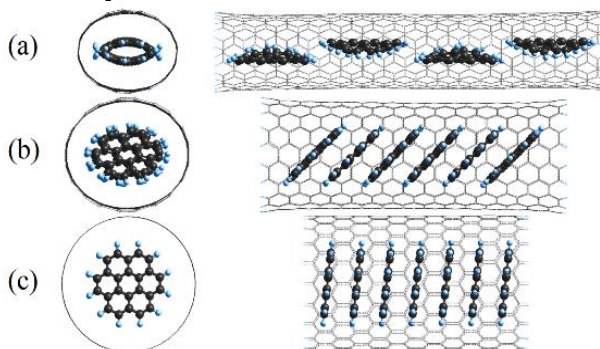


Рис.1. Структура углеродных нанотрубок инкапсулированных молекулами коронена: (a) (8,8); (b) (10,10); (c) (20,0).

Литература

1. Е.А. Belenkov, А.Е. Kochengin. Structure and electronic properties of crystals consisting of graphene layers L_6 , L_{4-8} , L_{3-12} and L_{4-6-12} . Physics of the Solid State. Vol. 57. P. 2126–2133 (2015).

2. А.Е. Коченгин, Т.Е. Беленкова, В.М. Чернов, Е.А. Беленков. Моделирование трёхмерной структуры кристаллических разновидностей графена. Челябинский физико-математический журнал. №25(315). С.40-47 (2013).

3. Е.А. Беленков, Ф.К. Шабиев Структура углеродных нанотрубок, содержащих цепочки из углеродных атомов. Известия Челябинского научного центра УрО РАН. № 4(30). С. 34-39 (2005).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА, СОДЕРЖАЩЕГО УГЛЕРОДНЫЕ НАНО ТРУБКИ

Боков К. А., Бузмакова М. М.

*Пермский государственный национальный исследовательский
университет, Пермь*

+7-952-652-0848, cyrilevel@rambler.ru

Известно, что свойствами полимерных нанокомпозиов можно управлять путем добавления различных концентраций наномодификаторов и присутствия некоторых, например упорядочивающих, факторов. Например, в работе [1] было проведено экспериментальное исследование электропроводности эпоксидной смолы, модифицированной углеродными нанотрубками, для случаев отвердевания при постоянном протекании тока через нанокомпозит и без тока. Было выявлено значительное увеличение значения электропроводности отвержденного нанокомпозита в направлении тока, протекающего во время отверждения смолы. Авторами было предположено, что при воздействии тока во время отвердевания нанокомпозита, углеродные нанотрубки приобретают направление, параллельное току, и вследствие этого, значение электропроводности готовой композиции значительно больше, нежели такой же композиции с неупорядоченным размещением нанотрубок. Целью настоящей работы является построение компьютерной модели структуры полимерного нанокомпозита, содержащего углеродные нанотрубки, с учетом упорядочивающего фактора и наличия межфазных областей.

Предложена решеточная перколяционная модель тонкой пленки полимера, модифицированного углеродными нанотрубками. В рамках модели полимерная матрица представлена квадратной решёткой с линейным размером L , нанотрубки – k -меры (k подряд занятых узлов решетки). В модели учитывается наличие межфазных областей в виде образования связей между k -мерами. Предполагается, что при образовании структуры, присутствует упорядочивающий фактор, и углеродные нанотрубки имеют

направление. Причем, согласно натурному эксперименту, в модели сначала получается равновероятное по направлениям распределение k -меров (смешивание эпоксидной смолы с углеродными нанотрубками), а далее они разворачиваются относительно середины k -мера (разворот нанотрубки под действием тока). Предполагается, что за время отвердевания все нанотрубки успевают развернуться и приобрести одинаковое направление. При моделировании используются периодические граничные условия. Пример полученной структуры изображен на рисунке 1.

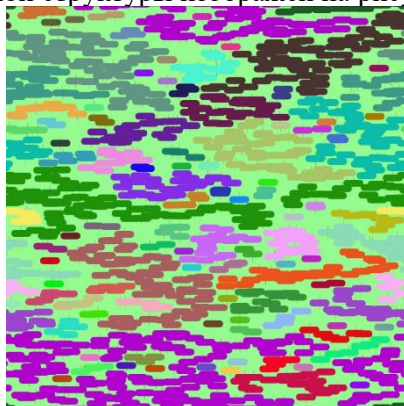


Рис.1. Распределение однонаправленных k -меров на квадратной решетке

Для данной модели исследовано поведение порога перколяции вдоль и поперек направления тока, который соответствует значению концентрации нанотрубок в полимере, при которой нанокомпозит становится электропроводящим. Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта № С-26/793 и гранта РФФИ (№ 17-41-590649).

Литература

1. В.А. Семенов, С. В. Русаков Электропроводность эпоксидной матрицы с углеродными нанотрубками. Высокие технологии, определяющие качество жизни: Материалы II Международной научной конференции. С. 169-172 (2018).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ ИТТРИЯ С ФУЛЛЕРЕНАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ $\text{Si}(111)\text{-}\alpha\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Au}$

Бондаренко С.В.

*Дальневосточный Федеральный Университет, Владивосток
89024815677, Sophiebondarenko.29@mail.ru*

В настоящее время значительный интерес представляют альтернативные виды топлива, методы их получения, хранения и транспортировки. Водород считается одним из перспективных альтернативных энергоносителей из-за его высокой энергоемкости и экологичности.

Разработка наиболее экономичных и эффективных способов хранения водорода представляет собой одну из главных технологических проблем водородной энергетики. Наиболее безопасным методом считается хранение водорода в абсорбированном состоянии.

Многие наноматериалы, такие как углеродные нанотрубки (УНТ), фуллерены, наноструктуры на основе бора и азота, металлические органические каркасные структуры, интенсивно исследовались для хранения водорода. В работе, выполненной, китайскими учеными Зи-Янь Тянь и Шун-Ле Донг из отдела физики Океанского Университета было показано, что добавление атомов переходного металла (иттрия) на поверхность молекулы фуллерена C_{60} может вызвать заметное усиление адсорбционной способности водорода. [1] Основным преимуществом этой системы является то, что она адсорбирует 12 молекул H_2 , и все связи являются молекулярными. Это показывает, что в такой системе может быть достигнута 100% десорбция молекул водорода, что невозможно достичь в ранее изученных системах металл – фуллерен, где первая молекула водорода диссоциировала на атоме переходного металла, расположенного на фуллерене.

Целью моей работы было исследовать взаимодействие атомов иттрия с фуллеренами на поверхности $\text{Si}(111)\text{-}\alpha\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Au}$.

Формирование поверхности $\text{Si}(111)\alpha\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Au}$ происходит путем осаждения золота на $\text{Si}(111)$. В результате чего формируется реконструкция $\text{Si}(111)\alpha\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Au}$.

На полученную фазу при комнатной температуре напылялось 2 монослоя фуллеренов C_{60} . Фуллерены собираются вдоль ступеней террас и от них образуют двухмерные плотно упакованные массивы.

После формирования $C_{60}/Si(111)_{\alpha\sqrt{3}\times\sqrt{3}}-Au$ происходит импульсное осаждение иттрия (Y) 10,20,40 и 60 секунд.

Таким образом получилась 3-х слойная структура, представленная на рисунке 1.

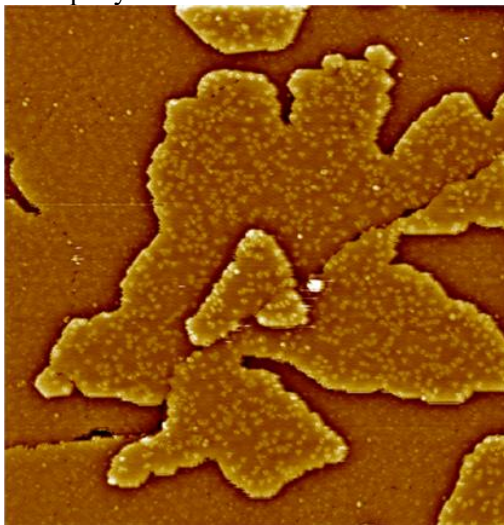


Рис.1 поверхностная реконструкция $Si(111)_{\alpha\sqrt{3}\times\sqrt{3}}-Au$ с двумя монослоями фуллеренов.

Список литературы:

[1] Zi-Ya Tian, Shun-Le Dong, The Journal of Chemical Physics 2014 V. 140 N4 [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://i.uran.ru/webcab/system/files/journalpdf/journal-chemical-physics/journal-chemical-physics-2014-v.140-n-4/14042014.pdf>

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРАКТАЛЬНОЙ ОСТРОВКОВОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ НАНОПЛЕНКИ

Бухаров Д.Н., Кучерик А.О., Новикова О.А.

*ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
89005867143, buharovdn@gmail.com*

Сегодня островковые нанопленки из золота и серебра и из их смеси завоевывают обширную сферу применения в различных приложениях нано- и микроэлектроники, что связывают с уникальностью их строения и проявляемыми ими электрическими и оптическими свойствами.

Представленные в работе металлические островковые пленки были получены методом лазерного осаждения из коллоидного раствора наночастиц золота и серебра. В результате были сформированы нанопленки фрактального типа, с дендритообразными островками размерами 30–100 нм (рис.1).[1]

Для описания структуры нанопленки и ее островков в соответствии с условиями эксперимента была выбрана модель DLA. При моделировании варьировалась начальная концентрация и вероятности слипания частиц и центров агрегации в рамках двумерной окрестности фон Неймана порядка 1 (рис 2). [2]

Исходя из фрактального характера островка нанопленки возможно также смоделировать его оптические свойства. Так, например, интенсивность рассеяния излучения на фрактале пропорциональна фурье-компоненте от плотности материала в нем $S(k) \sim k^{-D}$,

где S — интенсивность рассеянного света, k — волновой вектор фотона ($k=2\pi/\lambda$, λ — длина волны), D - фрактальная размерность кластера (рис 3). [3]

Представленные модели на качественном уровне достаточно верно отображают моделируемые свойства полученных структур, что в первом приближении позволит откалибровать экспериментальные методы получения материалов с наперед заданными свойствами, применяемые авторами данной работы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-32-2006_мол а вед и проектной части госзадания 16.1123.2017/4.6

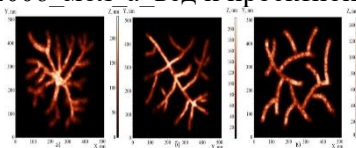


Рис. 1. АСМ изображения осажженных кластерных структур Ag (a), Au (b), Ag/Au (c)

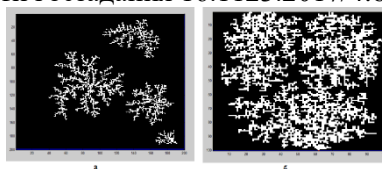


Рис. 2. Пленка с несколькими центрами агрегации. Вероятность прилипания а) 0.1 б) 0.5

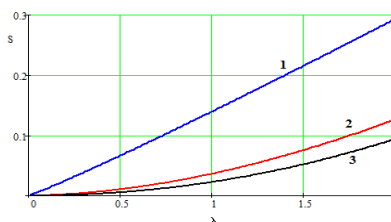


Рис 3. Интенсивность рассеяния от длины волны отн.ед: 1: $D=1.07$, 2 : $D=1.8$, 3: : $D=2.06$

Литература

1. Антипов А.А. и др. Осаждение биметаллических кластеров Au/Ag с использованием метода лазерного осаждения наночастиц из коллоидных систем//Оптика и спектроскопия,2014,том 116. № 2. С.349-352.
2. Кучерик А.О., Бухаров Д.Н., Истратов А.В. Моделирование агрегатов кластерной островковой нанопленки методом DLA.//Четвертый междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии». Москва. 27-30 ноября 2018 г. Сборник материалов. Т. I - М: ООО «Буки Веди», 2018 г., 914 с..
3. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. – М.: Наука, 1991. – 134 с.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Гавриков А.А., Смирнов В.И.

*Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А.
Котельникова РАН.
a.gavrikoff@gmail.com*

Перспективные энергетические технологии постепенно входят в нашу жизнь и в будущем доля «зелёной» энергии будет только расти. Как известно, КПД солнечных батарей пока не превышает 15-20%, значит более 80% падающей на него солнечной энергии преобразуется в тепло. С каждым градусом нагрева номинальная мощность батареи снижается примерно на 0,4%, в результате чего падение мощности может достигать 25%. К тому же высокая температура ускоряет деградацию солнечных модулей.

Все эти обстоятельства повышают требования к эффективному отводу тепла от активной области солнечной батареи (р-п-перехода) в окружающую среду. Качество теплоотвода любого полупроводникового прибора, включая и солнечные батареи, характеризуется тепловым сопротивлением R_T «переход-корпус».

При реализации программно-аппаратного комплекса использовался модуляционный метод [1], который использует мощность, модулированную по гармоническому закону, и определяет переменную составляющую температуры, что позволяет проводить измерения без использования «холодных» плит и исключить влияние температурного тренда на результаты измерения.

В состав аппаратно-программного комплекса входят измеритель теплового сопротивления, компьютер и программное обеспечение.

Через объект измерения пропускают импульсы тока $I_{гр}$, генерируемые формирователем импульсов греющего тока. Падение напряжения на р-п-переходе в паузе является температурочувствительным параметром $U_{тщп}$, значение которого однозначно связано с температурой р-п-перехода объекта.

Программное обеспечение включает в себя управляющую программу для микроконтроллера и программу для компьютера.

Управляющая программа для микроконтроллера обеспечивает прием из компьютера информационного пакета, в котором задаются рабочие параметры и режимы измерения, формирование ШИМ-импульсов греющего тока или последовательности импульсов тока определенной длительности и амплитуды, измерения $U_{тчп}$, передачу в компьютер результатов измерения.

Разработанный аппаратно-программный комплекс обеспечивает диапазон измерения теплового сопротивления от 0,01 до 100 К/Вт, погрешность измерения составляет 5%, диапазон греющих токов – от 0,25 до 4 А, диапазон частоты модуляции греющей мощности – от 0,01 до 1000 Гц[2]. Анализ зависимости теплового импеданса от частоты модуляции греющей мощности позволяет определять компоненты теплового сопротивления, связанные с особенностями конструкции объекта измерения.

Исследования теплофизических процессов солнечных элементов показали, что тепловое сопротивление таких объектов нелинейно зависит от величины греющего тока, стремясь при больших греющих токах к постоянному значению. Это объясняется процессами локализации тока в области р-п-перехода, обусловленными наличием положительной тепловой обратной связи. Экспериментальным подтверждением таких процессов является появление компоненты теплового сопротивления, возникающей из-за перепада температур между локально разогретой областью объекта измерения и остальной частью полупроводниковой пластины.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Правительства Ульяновской области, проект № 18-48-730018.

Литература

1. Смирнов В.И., Гавриков А.А., Шорин А.М. Метод измерения компонент теплового сопротивления полупроводниковых приборов и его практическая реализация // Автоматизация процессов управления. – 2017. – № 2 (48). – С. 98-105.

2. Смирнов В.И., Сергеев В.А., Гавриков А.А. Измерение теплового сопротивления солнечных модулей модуляционным методом // Журнал Радиоэлектроники, № 8. – 2018. DOI: 10.30898/1684-1719.2018.8.14.

УГЛЕРОДНЫЕ, КРЕМНИЕВЫЕ И БОР-НИТРИДНЫЕ ПРИЗМАНЫ: КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Гришаков К.С.

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва
конт. тел.: +79160839918
e-mail: ksgrishakov@yahoo.com*

Призмами называются молекулы, имеющие необычный каркас в виде двух или нескольких сцепленных колец, образующих призму. К настоящему моменту синтезированы и исследованы некоторые углеводородные призманы – бензол Ладенбурга, кубан и пентапризман, а также их производные. Несмотря на свою необычную форму и большую энергию напряжения, связанную с почти прямыми валентными углами, призманы обладают высокой устойчивостью и могут существовать при нормальных условиях в газовой фазе или в виде молекулярных кристаллов.

Согласно недавним исследованиям, кремниевые аналоги углеводородных призматов обладают еще большей стабильностью [1-2], что связано с их электронно-дефицитной ароматичностью [2]. Бипризман $\text{Si}_{19}\text{H}_{12}$ некоторое время считался самым стабильным кластером такого размера [2], хотя позже были найдены конфигурации с более низкими энергиями [3-4]. Тем не менее, кремниевые призманы могут служить контейнерами для различных атомов, образуя с ними эндоэдральные комплексы [1-2].

Призманы на основе нитрида бора до сих пор не рассматривались в литературе. Однако известно, что большинство углеродных/кремниевых sp^2 -гибридизованных структур имеют бор-нитридные аналоги. Это связано с тем, что бор и азот являются ближайшими соседями углерода в периодической таблице и легко образуют трехкоординированные сети.

В настоящей работе мы рассчитали структурные, энергетические, электронные и оптические свойства углеродных, кремниевых и бор-нитридных призматов. Расчеты выполнялись в рамках теории функционала электронной плотности при помощи программного комплекса GAMESS [5]. Для описания обменно-корреляционного взаимодействия использовался распространенный гибридный

функционал B3LYP. При исследовании возбужденных состояний использовался также функционал CAM-B3LYP, учитывающий дальнедействующие кулоновские корреляции.

Для описания свойств основных состояний призматов использовались следующие характеристики: длины связей, валентные углы, энергии связи, энергии граничных орбиталей (верхней заполненной, НОМО, и нижней свободной, ЛУМО) а также энергетическая щель между ними. Зависимость этих характеристик от размера системы исследовалась для призматов разного химического состава. На основе энергий граничных орбиталей были рассчитаны потенциалы ионизации и энергии сродства к электрону (при помощи теоремы Купманса), а также квантовые дескрипторы химической активности – химический потенциал, химическая жесткость, индекс электрофильности.

Проведенное квантово-химическое моделирование позволило провести сравнительный анализ свойств углеродных, кремниевых и бор-нитридных призматов. Мы считаем, что эта работа стимулирует их производство и дальнейшее использование.

Литература

1. К. Р. Katin, М. В. Javan, М. М. Maslov, А. Soltani. Effect of the embedded atom on the electronic, optical properties and kinetic stability of [3,6]silaprismane. *Chemical Physics*. Vol.487. P.59–66 (2017).
2. Н. Vach. Terahertz and Gigahertz emission from an all-silicon nanocrystal. *Phys. Rev. Lett.* Vol.112, P.197401 (2014).
3. М. В. Gordeychuk, К. Р. Katin, К. S. Grishakov, М. М. Maslov. Silicon buckyballs versus prismanes: Influence of spatial confinement on the structural properties and optical spectra of the $\text{Si}_{18}\text{H}_{12}$ and $\text{Si}_{19}\text{H}_{12}$ clusters. *International Journal of Quantum Chemistry*. Vol.118. Issue 15, P.e25609 (2018).
4. G. Dolgonos, K. Mekalka. *J. Comput. Chem.* Vol.36. P.2095 (2015).
5. M. W. Schmidt, K. K. Baldridge, J. A. Boatz et al. General atomic and molecular electronic structure system. *Journal of Computational Chemistry*. Vol.14. Issue 11. P.1347–1363 (1993).

ЛАЗЕРНАЯ ПЕЧАТЬ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

***Дежкина М.А.^{1,2}, Комленок М.С.^{1,2}, Рыбин М.Г.^{1,3},
Пивоваров П.А.^{1,2}, Арутюнян Н.Р.¹, Попович А.Ф.^{1,4},
Образцова Е.Д.^{1,3}, Конов В.И.^{1,2}***

¹*Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
Москва*

²*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

³*Московский физико-технический институт (Государственный
университет), Московская обл., Долгопрудный*

⁴*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
Российской академии наук, Московская обл., Фрязино
+7(985)127-05-23, m.a.dezhkina@gmail.com*

Задача манипулирования углеродными наноматериалами и последующего образования из них различных элементов является чрезвычайно актуальной. Электронно-лучевая литография, которая обычно используется для этой цели, требует многостадийной подготовки образца и приводит к значительному загрязнению материала полимером и остатками резиста, что отрицательно влияет на его физические свойства [1]. Мы сообщаем о лазерно-индуцированном переносе – лазерной печати – одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) и графена на произвольную подложку в качестве многообещающего подхода для формирования необходимого рисунка углеродных наноматериалов. Для реализации задачи лазерной печати углеродных наноматериалов предложена следующая стратегия. Сначала поглощающая тонкая пленка из меди или алюминия толщиной в несколько сотен нанометров наносится в вакуумной камере на подложку, прозрачную для лазерного излучения. Затем графен или суспензия, содержащая ОУНТ, переносится на эту металлическую пленку. Наконец, лазерное излучение, будучи поглощенным в тонком металлическом слое, вызывает его локальный перегрев и, как следствие, деформацию, которая приводит к отрыву углеродного материала от подложки-донора и его переносу на принимающую подложку, так называемый акцептор. Следует отметить, что в

нескольких работах [2, 3] для изготовления структур из УНТ и графена было продемонстрировано использование техники лазерно-индуцированного переноса, отличной от метода, предлагаемого в этой работе. В то же время наш подход характеризуется следующими уникальными чертами: во-первых, использованием металлического подслоя, который при воздействии лазерного излучения формирует пузыри для выброса покрывающего донор материала, и, во-вторых, переносом чистых ОУНТ и графена без полимерных пленок. Преимуществом использования металлической пленки является изоляция углеродного материала от лазерного излучения и горячего пара, ограниченного внутри блистера, что исключает загрязнение получаемой подложки и уменьшает нагрев переносимого материала.

В качестве источника излучения используется проекционная схема облучения с эксимерным KrF-лазером (длина волны составляет 248 нм, длительность импульса – 20 нс). Возможные изменения внутренней структуры и морфологии переносимого материала контролируются с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния и сканирующей зондовой микроскопии. Планируется обсуждение влияния условий облучения (плотность энергии, используемой для переноса, толщина металлической пленки и величина зазора между донором и акцептором) на перенос углеродных наноматериалов.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (№ 18-72-10158).

Литература

1. B. Prevel, J.-M. Benoit, L. Bardotti, P. Melinon, A. Ouerghi, D. Lucot, E. Bourhis and J. Gierak. Nanostructuring graphene on SiC by focused ion beam: Effect of the ion fluence. Applied Physics Letters. Vol.99. Issue 8. P.083116 (2011).
2. A. Palla-Papavlu, M. Dinescu, A. Wokaun and T. Lippert. Laser-induced forward transfer of single-walled carbon nanotubes. Applied Physics A. Vol.117. Issue 1. P.371-376 (2014).
3. E.C.P. Smits, A. Walter, D.M. Leeuw and K. Asadi. Laser-induced forward transfer of graphene. Applied Physics Letters. Vol.111. Issue 17. P.173101 (2017).

АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Деркунский П.А.^{1,2}, Толоконский А.О.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Москва*

² *ООО «СКУ-Атом», Москва
+7-925-350-58-13, pavelderkunsky@yandex.ru*

Процесс разработки документации для производства различного рода аппаратуры, в частности, автоматизированных систем является долгим и трудоемким процессом. От точности его выполнения зависят дальнейшие действия, производимые на этапе жизненного цикла аппаратуры.

Одними из этапов для любой автоматизированной технической системы являются испытания, в ходе которых производится проверка корректного выполнения функций, заложенных в систему [1]. Важно, что любому испытанию предшествует подготовка и планирование действий для организации их проведения [2].

Временные затраты на планирование и создание сопровождающей документации для осуществления проверки оборудования велики по сравнению с затратами на проведение самой проверки.

Анализ разработанной системы, подбор необходимых инструментов, измерительных приборов, имитаторов и другой оснастки, составление программы и методики испытаний и сопутствующей документации может производиться параллельно с проектированием системы, либо по завершению ее проектирования. В последнем случае существенно сказываются изменения, вносимые в проект системы, которые могут привести к разработке проекта вновь.

Параллельная работа по подготовке и планированию испытаний более предпочтительна, так как уменьшает время проектирования и лишена проблемы прямого метода, но является более трудоемкой деятельностью и требует дополнительного контроля со стороны разработчика.

Существенное улучшение в данный подход внесет использование системы проектирования, в которой заключен алгоритм поддержки, учитывающий текущий состав разрабатываемой системы и компоненты необходимые для выполнения испытаний, поддерживающий создание сопутствующей документации и внесение в нее правок с учетом изменений в проекте.

С помощью алгоритма решится проблема малой скорости учета изменений и генерации документации из-за возможного большого количества разрабатываемых документов, большого количества взаимных связей между частями системы и с другими смежными системами.

Решение поможет дополнить и улучшить методику параллельного проектирования, а также обеспечить дополнительный контроль данных при внесении изменений в разрабатываемую систему.

Литература

1. ГОСТ 34.603-92 Информационная технология (ИТ). Виды испытаний автоматизированных систем (1993).
2. Александровская Л. Н., Круглов В. И., Кузнецов А. Г. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем. (М.: Логос, 2003).

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Te}_2$ ($x = 0; 0.5; 1$)

***Доможирова А.Н.¹, Махнев А.А.¹, Шредер Е.И.¹, Лукоянов А.В.¹,
Наумов С.В.¹, Семянникова А.А.¹, Чистяков В.В.¹, Huang J.C.A.²,
Марченкова Е.Б.¹, Марченков В.В.^{1,3}***

¹ *Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург*

² *National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan*

³ *Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург*

+7(961)763-56-88, domozhirova@imp.uran.ru

Поиск и изучение новых топологических материалов является одним из основных направлений современной физики конденсированного состояния. Такие материалы имеют богатый потенциал для применения в устройствах электроники и спинтроники, поскольку обладают уникальными электронными свойствами, возникающими вследствие их необычной зонной структуры. В последнее время были обнаружены топологические изоляторы, вейлевские полуметаллы и топологические полуметаллы с линиями узлов, которые являются новыми квантовыми материалами, демонстрирующими уникальные физические свойства.

В вейлевских полуметаллах наблюдается необычный перенос заряда на поверхности и в объеме, что открывает новые возможности их потенциального применения. Характерной особенностью вейлевских полуметаллов является наличие экзотических бесщелевых поверхностных состояний – Ферми-дуг. Квазичастицами в объеме вейлевских полуметаллов являются «безмассовые» вейлевские фермионы [1]. Управлять такими квазичастицами можно гораздо быстрее, чем обычными носителями заряда, а вероятность их рассеяния достаточно мала, что делает вейлевские полуметаллы перспективными для создания устройств сверхбыстрой электроники.

Известно, что полуметаллические дихалькогениды переходных металлов $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Te}_2$ проявляют свойства вейлевских полуметаллов [2, 3], поэтому получение новой информации об их физических

свойствах представляет большой интерес. Цель данной работы – исследование электронной структуры, электронных транспортных и оптических свойств монокристаллов $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Te}_2$ ($x = 0; 0.5; 1$).

Монокристаллы MoTe_2 , WTe_2 и $\text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}\text{Te}_2$ были выращены методом химического газового транспорта с использованием Br_2 в качестве транспортного агента. Электрические и гальваномагнитные свойства измерены в интервале температур от 4.2 до 300 К и в магнитных полях до 100 кЭ по стандартной 4-контактной методике на постоянном токе. Оптические постоянные измерены эллипсометрическим методом Битти при комнатной температуре с одним отражением от плоскости образцов в диапазоне спектра 0.2-5.0 эВ. Теоретические расчеты электронной структуры выполнены в рамках компьютерного пакета Quantum Espresso.

Обнаруженные аномалии электронного транспорта и оптических свойств MoTe_2 , WTe_2 и $\text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}\text{Te}_2$ могут быть объяснены «легкими» носителями заряда высокой подвижности и, по-видимому, являются проявлением топологической природы.

Работа выполнена в рамках государственного задания России (тема «Спин», № АААА-А18-118020290104-2 и «Электрон», АААА-А18-118020190098-5) при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-52-52008), Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006).

Литература

1. S.Y. Xu, I. Belopolski, N. Alidoust et al. Discovery of a Weyl fermion semimetal and topological Fermi arcs. *Science*. Vol.349. P.613 (2015).
2. I. Belopolski, D.S. Sanchez, Y. Ishida et al. Discovery of a new type of topological Weyl fermion semimetal state in $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Te}_2$. *Nature Communications*. Vol.7. P.13643 (2016).
3. Y.-Y. Lv, L. Cao, X. Li et al. Composition and temperature-dependent phase transition in miscible $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Te}_2$ single crystals. *Scientific Reports*. Vol.7. P.44587 (2017).

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО ОТРАЖЕНИЯ ГИБКИХ МДС С НАНОМЕТРОВЫМ ПРОВОДЯЩИМ ПОКРЫТИЕМ

Иванов Р.А., Морозов С. И., Фитаев И.Ш.

*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Физико-технический институт, Симферополь
+79788464274, madara-09@bk.ru*

В настоящее время много внимания уделяется вопросу работоспособности радиоэлектронной аппаратуры при воздействии на нее электромагнитных полей, как направленного, так и естественного происхождения. В современной аппаратуре все операции над сигналами производятся в интегральных микросхемах (ИМС), поэтому вопросы её надежного функционирования приводят к исследованию физических явлений в ИМС при воздействии электромагнитных полей. С учетом активного развития полупроводниковой электроники актуальными являются исследования металлodieлектрических структур с нанометровым проводящим покрытием при воздействии на них электромагнитных полей.

В качестве исследуемых образцов использовались гибкие металлodieлектрические структуры (МДС), с $S = 5 \times 5$ мм, полученные методом ионного напыления [1], представляющие собой лавсан, использующийся в качестве подложки на который нанесен нанометровый слой алюминия. Образцы МДС устанавливались посередине волновода 23×10 перпендикулярно его оси. $f = 10$ ГГц.

Исследуемой характеристикой являлся оптический коэффициент, представляющий собой относительную мощность отраженной волны ($R = P_{OTR}/P_{ПД}$). Из рисунка 1 видно, что с увеличением толщины проводящего покрытия растет и мощность отраженной волны, а при достаточно малой толщине проводящего слоя мощность отраженной волны практически нулевая.

В данной работе нам удалось осадить металлические пленки на гибкие подложки и показать, что такие структуры могут весьма эффективно взаимодействовать с электромагнитным полем. Следствием данных результатов может быть разработка новых

(инновационных) пленочных структур, предназначенных для защиты радиоэлектронного оборудования, приборов от электромагнитного излучения. А также в результате исследований были сделаны выводы о том, что при достижении определенной толщины напыления отраженная мощность может превышать отраженную мощность толстой алюминиевой пластины.

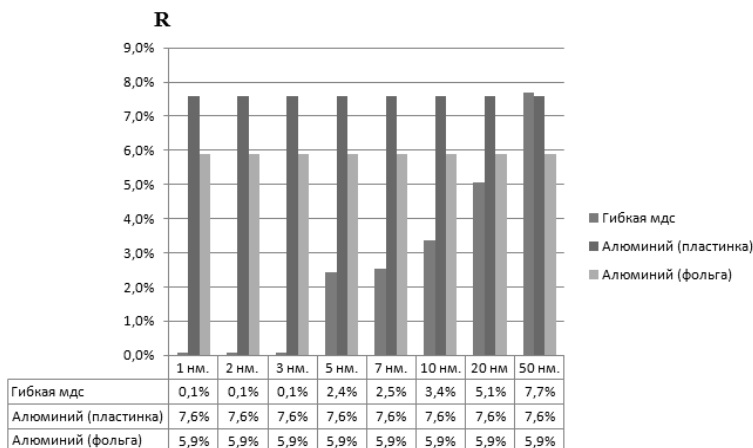


Рис.1. Зависимость R от толщины напыления, а так же сравнения их с образцами алюминиевой фольги и пластинки аналогичный геометрических размеров.

Список литературы

1. Арсеничев С.П. Дифракция электромагнитного излучения на тонких проводящих пленках металлodieлектрических структур в прямоугольном волноводе / С.П. Арсеничев [и др.]// Электромагнитные волны и электронные системы. - 2017 г., т. 22, № 2. С.48-53.
2. Арсеничев С.П. Особенности измерения оптических коэффициентов нанометровых пленок волноводными методами / С. П. Арсеничев [и др.] // Материалы 28-й Междунар. крымской конф. “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (КрыМиКо’2018) (28; 2018 г.; Севастополь). – Севастополь, 2018. – С. 2013-2018.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Иванова П.С.¹, Толоконский А.О.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, PSivanova@terphi.ru*

Моделирование систем безопасности реакторных установок позволяет частично рассмотреть и обосновать меры по защите систем и элементов безопасности, что в свою очередь является необходимым при проектировании требованием [1].

Целью настоящей работы является разработка модели алгоритмов аварийного останова реакторной установки и интеграция с моделью объекта для создания комплексной модели.

Модель систем безопасности разрабатывалась на основе конструкторской и технической документации. Было выделено 15 первопричин формирования сигналов аварийной защиты. Логический сигнал, несущий информацию об исходном событии формируется по показаниям измерительной системы, удовлетворяющей принципам резервирования и мажоритарного выбора [2]. Далее различные комбинации сигналов аварийной защиты инициируют запуск одной из трех программ аварийной защиты, выполнение которых вводит в действие систему аварийного и планового расхолаживания. Управляющий сигнал, сообщающий о запуске или незапуске системы аварийного и планового расхолаживания, в зависимости от программы аварийной защиты, пересылает команды на выполнение дополнительных действий (рис. 1). Алгоритм реализован в виде функционально-группового управления.

Поскольку система аварийного и планового расхолаживания является общей частью всех программ аварийной защиты, для нее разработан эскиз видеокadra, отображающий пошаговое выполнение алгоритма и обеспечивающий предоставление оператору достоверной информации о состоянии элементов системы [3].

Для проведения эксперимента разработанные алгоритмы были интегрированы с базой данных сигналов расчетной модели.

Моделирование заключалось в имитации исходных событий, являющихся первопричинами срабатывания сигналов аварийной защиты.

Модели алгоритмов станут частью виртуального стенда моделирования для проведения численных экспериментов, на основании которых будут разработаны реальные системы безопасности, подлежащие пуску и наладке на реакторной установке, а также отработал операторский интерфейс.

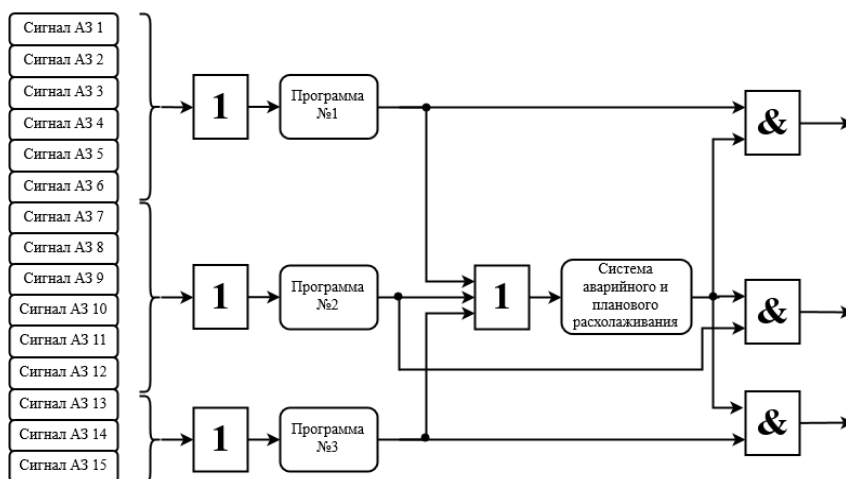


Рис.1. Упрощенная структурная схема алгоритмов аварийного вывода реакторной установки

Литература

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (2015)
2. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций (2007)
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций» (2016)

МОДЕЛИРОВАНИЕ САМООРГАНИЗАЦИИ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ В ВЫСЫХАЮЩЕЙ НА ПОДЛОЖКЕ КАПЛЕ

Колегов К.С.^{1,2,3}, Бараиш Л.Ю.^{3,4}

¹ Астраханский государственный университет

² Каспийский институт морского и речного транспорта филиал ФГБОУ
ВО «ВГУВТ», г. Астрахань

³ Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН,
г. Черноголовка

⁴ Национальный исследовательский университет «Высшая школа
экономики», г. Москва

Тел.: +7 (8512) 24-66-32; e-mail: konstantin.kolegov@asu.edu.ru

Самоорганизация микро- и наночастиц в высыхающих каплях представляет фундаментальный и прикладной интерес. В эксперименте [1] получены осаждения в виде кольца и пятна в результате испарения пиколитровых капель на основе водных чернил и различных смесей растворителя. Эти осадки характеризуются хорошо упорядоченной гексагональной структурой расположения частиц. В случае с кольцевым осаждением в центральной части выстроились отдельные цепочки частиц. В [1] не описаны причины формирования цепочек. Понимание таких процессов важно, к примеру, в задачах формирования прозрачных электропроводных пленок [2]. Целью работы является объяснение механизма формирования отдельных цепочек частиц внутри кольцевого осадка [1]. Краевой угол смачивания капли на подложке мал ($\theta \approx 10^\circ$), поэтому рассмотрим двумерную постановку задачи. Опишем случай с закрепленной трехфазной границей. В плоскости xu присутствует и подвижная граница фиксации $R_f(t) = \sqrt{R^2 - 4r_p R / \theta(t)}$, где R и r_p – радиусы основания капли и частицы. Движение радиуса R_f происходит из-за того, что высота капли h и краевой угол θ в процессе испарения уменьшаются. Отметим, что $R_f < R$, и толщина жидкого слоя между этими границами меньше размера частиц, $h < 2r_p$. Если координата частицы $r < R_f$, то она подвержена диффузионному движению и сносу потоком жидкости. Случайное броуновское движение опишем методом Монте-Карло. Радиальную скорость потока

рассчитываем на основании аналитической формулы из [3]. Вблизи границы R_f частицы притягиваются друг к другу под действием капиллярных сил. При $r > R_f$ частицы прекращают движение и осаждаются. Результаты численного моделирования показывают, что кольцевой осадок с плотной упаковкой частиц образуется за счет конвекционного и диффузионного переноса. Цепочки частиц в центральной области формируются за счет капиллярного притяжения частиц по мере движения границы фиксации на финальном временном этапе, когда скорость смещения R_f возрастает и начинает превышать скорость роста ширины кольца. Полученная структура и плотность распределения частиц ρ показаны на рис. 1.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 18-71-10061).

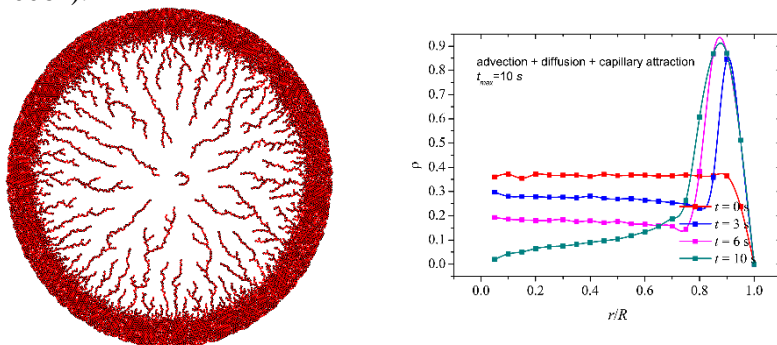


Рис.1. Результаты вычислительного эксперимента

Литература

1. J. Park, J. Moon. Control of colloidal particle deposit patterns within picoliter droplets. Ejected by Ink-Jet Printing. Langmuir. Vol.22. Issue 8. P.3506-3513 (2006).
2. M. Layani, M. Gruchko, O. Milo, I. Balberg, D. Azulay, S. Magdassi. Transparent conductive coatings by printing coffee ring arrays obtained at room temperature. ACS Nano. Vol.3. Issue 11. P.3537-3542 (2009).
3. Y.O. Popov. Evaporative deposition patterns: Spatial dimensions of the deposit. Phys. Rev. E. Vol.71. P.036313. American Physical Society (2005).

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕНСОРОВ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩЕГО ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА

Коноваленко С.П.¹, Бедная Т.А.²

¹ Таганрогский институт им. А.П. Чехова (филиал)

ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)», Таганрог

² Политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «ДГТУ», Таганрог

+7 (929)82-00-769, e-mail: svetlana_s12@mail.ru

Перспективным направлением создания систем контроля о превышении допустимых норм содержания в воздухе токсичных и горючих газов является разработка сенсоров газов на основе газочувствительных материалов. В последнее время для создания газоаналитических сенсоров интенсивно исследуют пленки электропроводящих полисопряженных органических полимеров, которые с успехом могут быть использованы в качестве газочувствительного слоя сенсоров. Одним из таких материалов является полиакрилонитрил (ПАН) – это линейный полимер $[-CH_2-CH(CN)-]_n$, состоящий из органических макромолекул, проводящие свойства которого достигаются за счёт изменения структуры цепи под действием высоких температур.

Пленки состава ПАН/Со газочувствительны к диоксиду азота (NO_2) и хлору (Cl_2) при рабочей температуре $18 \div 25$ °С. Проявление высоких газочувствительных свойств у данных материалов связано с технологией их формирования [1].

Газочувствительный элемент сенсора представляет собой пленку полупроводникового нанокompозитного материала, который состоит из ПАН и легирующей добавки (содержание Со по массе: 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1%), сформированную на диэлектрической подложке из поликора. Газочувствительный материал состава ПАН/Со формировали из пленкообразующих растворов методом некогерентного ИК - излучения. ИК-отжиг проводили в камере ИК-излучения в два этапа при неглубоком вакууме ($8 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.). Время воздействия ИК-излучения при каждой температуре было различным ($5 \div 20$ минут).

Показано, что газочувствительность плёнок Со-содержащего ПАН находится в зависимости и от режимов ИК-отжига, и от процентного содержания кобальта в образце. На коэффициент газочувствительности существенное влияние оказывает сушка в термошкафу. При возрастании температуры второго этапа ИК-отжига (500°C) предварительная сушка в термошкафу с возрастанием содержания кобальта снижает коэффициент газочувствительности. При более низких температурах второго ИК-отжига (350°C) наоборот, приводит в большинстве случаев к увеличению коэффициента газочувствительности.

Выявлено влияние выдержки плёнообразующих образцов при комнатной температуре перед ИК-отжигом. Выдержка образцов с нанесённым плёнообразующим раствором более двух дней приводит к существенному снижению коэффициента газочувствительности.

Увеличение температуры первого ИК-отжига увеличивает коэффициент газочувствительности при небольшом количестве Со. Увеличение легирующей добавки при высоких температурах второго ИК-отжига и максимальном времени воздействия первого этапа ИК-отжига (20 мин.) приводит к снижению газочувствительности элемента.

В результате проведенных исследований установлено, что материалы на основе плёнок ПАН/Со достаточно чувствительны к диоксиду азота ($S = 0,89 \div 0,98$). Таким образом, тонкопленочные полимерные кобальтсодержащие пленки на основе ИК-пиролизованного ПАН являются перспективными материалами для создания низкотемпературных сенсоров газа.

Литература

1. Т. А. Bednaya, S. P. Konovalenko. Influence of Technological Modes on the Electrophysical Properties of Films of Polyacrylonitrile Doped with Metal Particles. Russian Microelectronics. 2018. Vol. 47. No. 2, pp. 112–117.

УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ МЫШЕЧНОГО ОТВЕТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Коняшкина К.В.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева»
(Самарский университет), город Самара
+7-937-657-60-20, ksuhakon@mail.ru*

Для нейродегенераторных заболеваний характерна медленно прогрессирующая гибель нейронов и постепенно нарастающая атрофия соответствующих отделов головного и(или) спинного мозга. Одним из основных признаков нейродегенераторных заболеваний является моторная дисфункция, что приводит к снижению способности пациента двигаться и обслуживать себя. Данный факт указывает важное социальное значение проблемы таких заболеваний[1].

Исследование нервной проводимости является информативным диагностическим методом оценки в определении степени поражения мышц при нейродегенераторных заболеваниях, что показывает актуальность данной работы.

Целью работы являлась разработка устройства для мониторинга нервно-мышечной функции у пациентов с нейродегенераторными заболеваниями.

Оценка мышечных ответов на стимуляцию периферического нерва может производиться следующими методами: по клиническим признакам, методами инструментальной оценки (тактильная оценка, электромиография, акселерометрия, механомиография) [2].

Разработанный монитор позволяет оценивать ответ пораженной мышцы при нейродегенераторных заболеваниях на стимуляцию периферического нерва и вычислять показатель блокады нервно-мышечной проводимости. В основе работы прибора лежит метод электромиографии, который не применялся в серийных отечественных аналогах. Преимуществом метода является

доступность применения для широкого круга пациентов как с целью диагностики ранних стадий заболеваний и выделения групп риска на доклинической стадии, так и возможность оценки состояния больных при уже развивающемся заболевании. Данный факт показывает практическую значимость работы.

Была разработана структурная схема. Она приведена на рисунке 1.

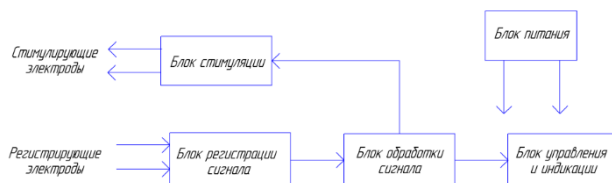


Рис.1. Обобщенная структурная схема прибора

На основе структурной схемы разработана принципиальная.

Для возможности дальнейшего анализа полученных мышечных ответов предусмотрена возможность передачи данных в персональный компьютер.

Литература

1. М. В. Угрюмов. Нейродегенеративные заболевания: фундаментальные и прикладные аспекты. (М: Наука. 2010).
2. Eriksson LI. Evidence-based practice and neuromuscular monitoring: it's time for routine quantitative assessment. (2003).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Кратко А.О., Горбунов Н.Г., Тютюник А.С.

*Физико-технический институт Крымского федерального университета
им. В.И. Вернадского, Симферополь
+79785685375, alexkratko@gmail.com*

Нанотехнологии на данном этапе развития позволяют менять электрические характеристики различных полупроводниковых материалов в широком диапазоне. Большой интерес вызывают тонкопленочные структуры на основе композитных материалов. Более глубокое изучение фуллеренсодержащих наноматериалов открывает широкие перспективы для дальнейшей разработки новых, компактных, гибких электронных устройств на его основе. Углерод имеет множество форм, различающихся своими свойствами, в том числе удельной проводимостью. Такой большой диапазон характеристик позволяет применять данные материалы в различных отраслях микро- и нанoeлектроники. Например, фуллерены могут применяться в качестве составляющих при производстве фотопреобразователей, сорбентов (в том числе в медицинских целях) и как материал, улучшающий характеристики композитов и приборов (антифрикционные свойства, электрическую проводимость).

Фуллеренсодержащий материал (ФСМ, FCM) представляет собой углеродную смесь различных фаз (графит, аморфный углерод и др.), содержащих фуллерены [1]. Его низкая стоимость и относительная простота получения в некоторых случаях представит возможность заменить использование чистого фуллерена.

В данной работе рассмотрены тонкие пленки на основе фуллеренсодержащих материалов, полученных методом осаждения из растворов в пяти различных растворителях. Цель данной работы заключалась в изучении проводящих свойств вышеописанных материалов. Данные были сняты анализатором полупроводниковых приборов Keysight (Agilent) B1500A, который обеспечивает высокую точность и повторяемость результатов.

Получена линейная зависимость силы тока от приложенного напряжения для всех исследуемых образцов (рис. 1). У пленок, осажденных из ароматических растворителей, проводимость незначительно уменьшилась относительно ИТО. Для тонких пленок на основе растворителей CHCl_3 и CCl_4 была зарегистрирована наименьшая проводимость.

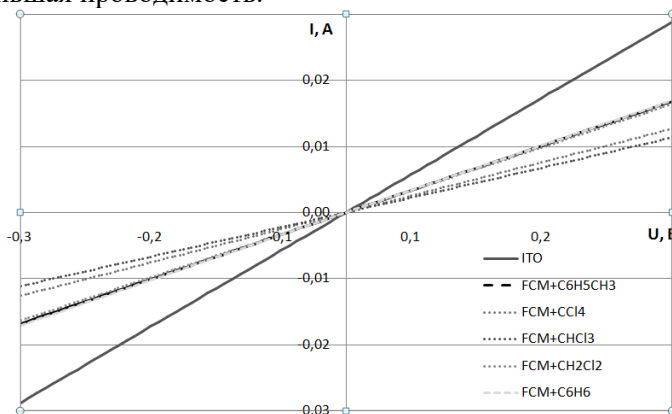


Рис.1. ВАХ пленок ФСМ, полученных с использованием различных растворителей

Таким образом, применение различных растворителей позволяет получить пленки фуллеренсодержащих материалов, обладающие различными электрическими свойствами. Разнообразные растворители представляют возможность управлять структурой построения углеродных слоев для твердотельных полупроводниковых приборов.

Литература

1. А.И. Шевченко, К.В. Работягов, Е.М. Максимова, И.А. Наухацкий, Л.А. Батиашвили. Фуллеренсодержащий материал, полученный низкотемпературным крекингом из резиносодержащих отходов. Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Т. 22. Вып. 2. С. 459-463 (2017).

РАСЧЕТ СТРУКТУРЫ НОВЫХ ПОЛИМОРФНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ГРАФИНОВЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ L₅₋₇ ГРАФЕНА

Курманов С.Р., Беленков Е.А.

*Челябинский государственный университет, Челябинск
+7(982)324-14-11, kurmanovsr@yandex.ru*

Свойства гибридных углеродных материалов, состоящих из атомов в различных гибридизированных состояниях можно варьировать за счет изменения соотношения атомов в разных состояниях. В настоящее время актуально исследование слоевых гибридных соединений с двухмерной кристаллографической размерностью, называемых графинами [1-3]. В этих соединениях атомы углерода находятся в двух- и трехкоординированных ($sp + sp^2$ гибридизированных) состояниях. Модельно полиморфные разновидности графина могут быть построены на основе различных структурных разновидностей графена [4,5]. В данной работе новые структурные разновидности графина были построены на основе L₅₋₇ графена [6].

Структура новых полиморфных разновидностей графина была модельно построена в результате замены части углерод-углеродных связей в графеновом слое 5-7 на фрагменты карабиновых цепочек из двух или четырех атомов. Связи были заменены, так что пентагоновые структуры в графеновом слое остались подобны аналогичным исходным структурам графенового слоя. Другие варианты построения графиновых слоев приводили к их сильной деформации и нарушению плоской структуры.

Геометрически оптимизированная структура графиновых слоев была рассчитана методом молекулярной механики ММ2. Изображения рассчитанных слоев приведены на рисунке 1. Элементарные ячейки слоев косоугольные, длины векторов элементарных трансляций a и b имеют одинаковую длину и составляют 7.224 Å и 9.916 Å для слоев γ -L₅₋₇-графина-1 и γ -L₅₋₇-графина-2 соответственно. В элементарной ячейке слоя γ -L₅₋₇-графина-1 содержится 14 углеродных атома, а в ячейке слоя γ -L₅₋₇-графина-2 имеется 20 атомов. Углы между векторами элементарных

трансляций составляют 111.58° и 113.39° для слоя графеновых слоев дины карбиновых цепочек в которых составляют два и четыре атома соответственно. Длины межатомных связей в слоях графина варьируются от 1.197 Å до 1.492 Å. Это обусловлено тем, что порядок ковалентных связей между углеродными атомами изменяется от одного до трех.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

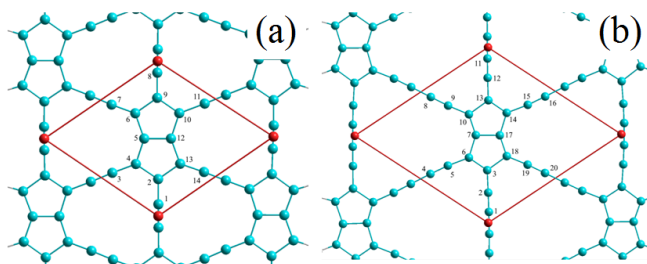


Рис.1. Геометрически оптимизированная структура графеновых слоев:

(a) γ -L₅₋₇-графин-1; (b) γ -L₅₋₇-графин-2.

Литература

1. В.В. Мавринский, Т.Е. Беленкова, В.М.Чернов, Е.А. Беленков. Структура полиморфных разновидностей графеновых слоев. Челябинский физико-математический журнал. № 25(316). С.31-39 (2013).
2. В.В. Мавринский, Е.А. Беленков. Структура и электронные свойства графеновых слоев, сформированных на основе графена L₃₋₁₂. Письма о материалах. Т. 8. № 2(30). С.169-173 (2018).
3. Е.А. Беленков, А.Е. Коченгин. Структура и электронные свойства кристаллов, состоящих из графеновых слоев L₆, L₄₋₈, L_{3-L2} и L₄₋₆₋₁₂. Физика твердого тела. Т. 57. № 10. С.2071-2078 (2015).
4. А.Е. Коченгин, Е.А. Беленков. Новые полиморфные разновидности графена, сформированные из карбиновых цепочек. Перспективные материалы. № 2. С.5-13 (2017).
5. М.Е. Belenkov, V.M. Chernov, E.A. Belenkov, V.M. Morilova. Structure and electronic properties of 5-7 graphene. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. V. 447. P.012005 (2018).

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОФАЗНОГО СИНТЕЗА ЛЮМИНОФОРА ($\text{Sr}_{0,98}\text{Eu}_{0,02}\text{Ga}_2\text{S}$)

Марьин А.П., Марьина У.А.

*Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь
8-918-884-32-09, kosmostech@yandex.ru*

Разработка новых и совершенствование известных методов синтеза тиогалатных материалов для улучшения их люминесцентных свойств остается актуальной задачей.

В настоящий момент известны люминофоры на основе тиогаллатов бария, стронция, кальция, активированные ионами редкоземельных металлов и излучающие в видимой и инфракрасной области электромагнитного спектра. Для их получения используют такие методы синтеза, как твердофазный синтез тиогаллатов из прекурсоров в запаянной ампуле, наполненной парами инертного газа (H_2 , N_2 , Ar) [1]; метод полимеризованной комплексной сульфуризации [2]; твердофазный синтез в потоке сероводорода H_2S [3] и др. К недостаткам этих методов можно отнести высокую токсичность при использовании сероводорода H_2S , дороговизну в случае замены H_2S на инертные газы, техническую сложность реализации и невозможность масштабирования в условиях производства.

Поэтому целью нашей работы было изучение достаточно простого и дешевого метода синтеза тиогаллатных люминофоров с использованием активного древесного дробленого угля (БАУ) для создания восстановительной атмосферы в печи. Исходные реактивы SrCO_3 и Ga_2O_3 просеивали, смешивали и добавляли раствор активатора $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$. Полученную смесь доводили дистиллированной водой до пастообразного состояния и помещали в сушильный шкаф для выпаривания, после этого в шихту добавляли серу S, все тщательно размалывали, просеивали и помещали в тигель для прокали. Синтез всех образцов производился в высокотемпературной печи при температурах 750-1100 °C (рисунок 1). Для создания восстановительной атмосферы прокалка осуществлялась под БАУ в 3-5 этапов с постоянным добавлением серы.

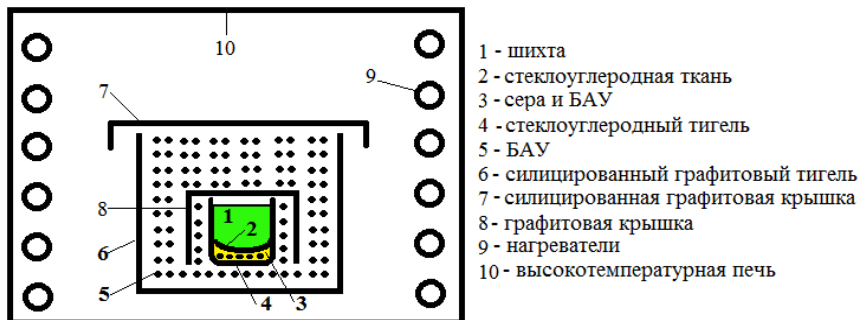


Рис.1. Твердофазный синтез люминофора $(\text{Sr}_{0.98}\text{Eu}_{0.02})\text{Ga}_2\text{S}$ в высокотемпературной печи

Необходимость проведения нескольких прокалок объясняется тем, что сера, быстро выгорает и покидает зону реакции в виде SO_2 и CS_2 . Поэтому для поддержания восстановительной атмосферы в рабочей зоне и полного протекания реакций с образованием целевой фазы $\text{Sr}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Ga}_2\text{S}_4$ перед каждой прокалкой сера вводилась в состав шихты и дополнительно засыпалась на дно тигля.

Исследования фазового состава образцов проводилось с использованием рентгеновского дифрактометра «Дифрей 401». Спектры люминесценции и возбуждения снимались с использованием флуоресцентного спектрофотометра Hitachi 850 и монохроматора МДР-204. При возбуждении лазерными диодами с длиной волны 365, 400 нм обнаружена люминесценция в полосе около 535 нм.

Литература

1. Y.-K. Kim, D.-H. Cho Luminescence characterization of $(\text{Ca}_{1-x}\text{Zn}_x)\text{Ga}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$ phosphors for a white light-emitting diode. Materials Research Bulletin. Vol. 45. P. 905–909 (2010).
2. K.Taniguchi, T.Honda, A.Kato. Eu concentration dependence of luminescent properties of $\text{Sr}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Ga}_2\text{S}_4$ phosphors synthesized by polymerized complex sulfurization method. Optical Materials. Vol.35. P.1993–1996 (2013).
3. C.Chartier, C.Barthou, P.Benalloul, J.M. Frigerio. Photoluminescence of Eu^{2+} in SrGa_2S_4 . Journal of Luminescence. Vol.111. P. 147–158 (2005).

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НАНОЧАСТИЦЫ В МАТРИЦЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Мустафаев А.Г.¹, Мустафаев Г.А.²

¹ ГАУО ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства», Махачкала

² ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет»,
Нальчик

arслан_mustafaev@mail.ru

Целью работы является моделирование процесса ионной имплантации в структуру, состоящую из наночастиц золота в матрице диоксида кремния и расчет распределения легирующих ионов, каскадов смещенных ионов матрицы и наночастицы, а также распределения ионов, отраженных от наночастицы.

Моделирование процесса ионной имплантации проводится на основе физической модели (рис. 1). На подложке монокристаллического кремния располагается металлическая наночастица (Au) сферической формы, радиусом R , на половину заглубленная в Si, находящаяся под слоем диоксида кремния, толщина которого над центром наночастицы равна H . Пучок ионов направлен перпендикулярно поверхности структуры.

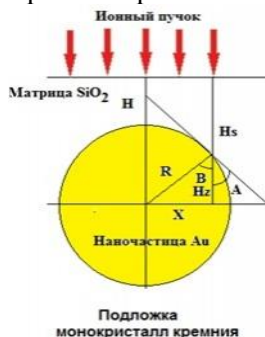


Рис. 1. Физическая модель для расчета параметров процесса ионной имплантации

Условия имплантации изменяются в зависимости от положения проекции точки на поверхности структуры на горизонтальный радиус наночастицы от центра до периферии. Для точки, находящейся над вертикальным диаметром наночастицы (в ее центре) необходимо рассматривать процесс имплантации

трехслойной структуры $\text{SiO}_2\text{--Au--Si}$. Для точки структуры находящейся за пределами наночастицы имплантируемая структура состоит из слоев $\text{SiO}_2\text{--Si}$.

Моделирование процессов имплантации наночастицы золота в матрице SiO_2 выполнялось для ионов бора и мышьяка.

Численные эксперименты показали, что при имплантации металлических наноструктур находящихся в диэлектрической матрице возникают сложные и многообразные физические эффекты, связанные с процессами отражения ионов и атомов отдачи от слоев металла, распылением поверхности матрицы и верхней поверхности наночастицы и экранирующим действием наноструктуры, которые необходимо учитывать при разработке технологии ионного легирования нанокompозитных материалов.

При имплантации структуры ионами мышьяка наблюдается слабое распыление верхней границы наночастицы. В случае большой дозы ионов мышьяка распыление наночастицы может стать существенным, приводит к изменению её геометрической формы.

Проведено моделирование процесса ионного легирования структуры ионами бора и мышьяка для различных сечений и получены графики распределения легирующих ионов, атомов отдачи, отраженных и распыленных ионов в зависимости от координаты от центра наночастицы. Проведены численные расчеты параметров процессов имплантации и построены основные зависимости профилей распределения легирующих ионов, отраженных и распыленных ионов вдоль радиуса наночастицы.

Литература

1. R. Chang, P. Lin. Simulation Study of Implantation Angle Variation and Its Impact on Device Performance. 21st International Conference on Ion Implantation Technology, pp. 1-4 (2016).
2. J.P. Spratt, E.A. Burke, J.C. Pickel, R.E. Leadon. Modeling high-energy heavy-ion damage in silicon. IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 48, no. 6, pp. 2136-2139 (2001).
3. E.V. Krylova, V.V. Ovchinnikov, I.M. Belova. Distribution model of introduced by ion implantation into metal targets. XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, pp. 129-130 (2016).

СУММАТОР-МУЛЬТИПЛЕКСОР БЛОКА ЭЛЕКТРОНИКИ КЛАСТЕРА УСТАНОВКИ НЕВОД-ШАЛ

Пасюк Н.А., Компаниец К.Г., Шульженко И.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Научно-образовательный центр НЕВОД, Москва
конт. тел. +79227428263, e-mail PasyukNA@yandex.ru*

Целью данной работы является разработка нового сумматора-мультиплексора (С-М) для блока электроники кластера установки НЕВОД-ШАЛ. Данная установка предназначена для регистрации широких атмосферных линий в области энергий первичных частиц 10^{15} – 10^{17} эВ [1].

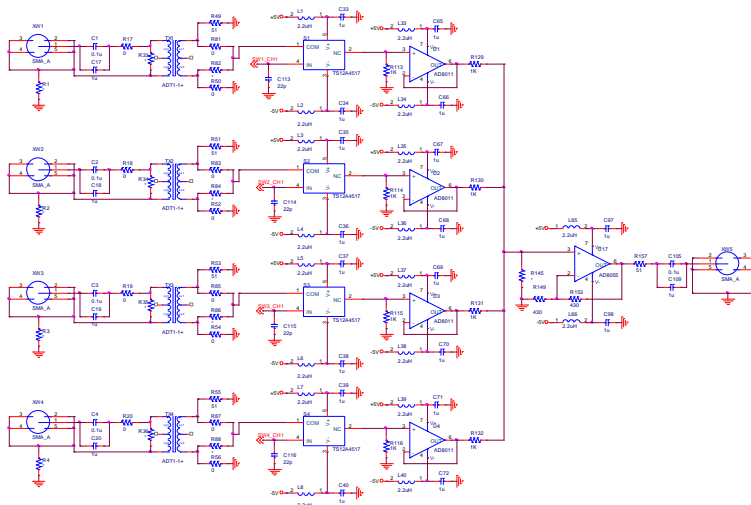
Разработка новой конструкции обусловлена физическим устареванием действующих модернизированных С-М CAEN N169 [2] и отсутствием у них требуемого функционала.

С-М осуществляет суммирование аналоговых сигналов с четырех фотоумножителей сцинтилляционных счетчиков каждой детектирующей станции (ДС) НЕВОД-ШАЛ. Выходы фотоумножителей ДС подключены к соответствующим входам канала суммирования. Для мониторинга характеристик каждого счетчика реализована возможность отключения любых входных каналов. Суммарный сигнал с 4 ФЭУ, образующийся на выходе канала суммирования, поступает на соответствующий измерительный канал блока электроники кластера детектирующей станции (БЭКДС) [3].

В работе приведено описание разработанной электрической принципиальной схемы С-М и принцип её работы. Электрическая принципиальная схема С-М разрабатывалась на основе схемы включения операционного усилителя в режиме суммирования.

Разработанная электрическая принципиальная схема обеспечивает требуемую конфигурацию $4 \times (4/1)$ – 4 канала на 4 входа и 1 выход, позволяющую получать данные в режимах мониторинга или экспозиции. По предварительной оценке, схема имеет меньшее энергопотребление и лучшее отношение сигнал/шум, чем у действующего С-М. Разработанная

электрическая принципиальная схема одного канала суммирования С-М представлена на рис. 1.



ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ НЕТКАНЫХ ПЛЕНОК ИЗ НЕЙЛОНА 11, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА

Перунова С.В.¹, Павлова Е.Р.², Багров Д.В.²

*¹ Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», Москва*

*² ФБГУ ФНКЦ ФХМ России, Москва
+7(977)474-90-75, s.perunova0103@gmail.com*

В данной работе объектом изучения являются нетканые материалы – изделия из волокон и нитей, сцепленных между собой без использования приемов прядения. Нетканые материалы применяются для изготовления фильтров, упаковочных материалов в пищевой, косметической, космической и фармацевтической промышленности. Они могут обладать уникальными механическими, оптическими и термическими свойствами [1]–[3].

Наиболее современный метод изготовления нетканых материалов – это электроспиннинг. Данный метод позволяет формировать волокнистые материалы с диаметром волокон 100 нм – 5 мкм. Это значительно меньше, чем при использовании большинства других методов, основанных на сцеплении экструдированных волокон с диаметром 10-100 мкм [4]. Малый диаметр волокон приводит к тому, что состоящие из них нетканые пленки обладают необычными физико-химическими свойствами. При электроспиннинге полимерные волокна формируются из раствора под действием электростатических сил [5].

Целью данной работы является изучение зависимости краевого угла смачивания от доли поверхности, занятой волокнами нейлона 11.

На рис. 1 были собраны результаты, полученные в трех независимых экспериментах по измерению смачиваемости волокон нейлона 11, находящихся на алюминиевой подложке. Краевой угол смачивания достигает максимума $125 \pm 5^\circ$ уже при $17 \pm 5\%$ доли покрытия поверхности волокнами. Уже при малой доле поверхности, занятой волокнами, ее краевой угол смачивания становится таким же, как у толстой нетканой пленки.

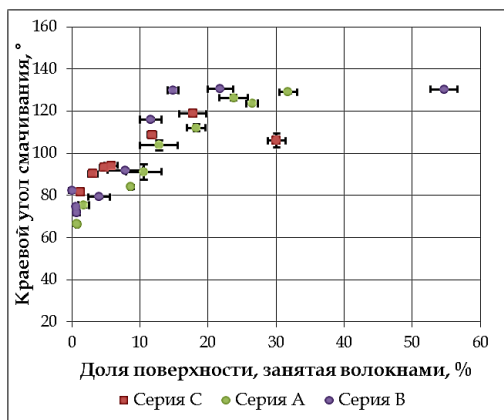


Рис. 1. По мере заполнения поверхности алюминиевой фольги волокнами нейлона 11 краевой угол смачивания достигает максимума и выходит на насыщение

Литература

- [1] T. J. Sill and H. A. Von Recum. Electrospinning: Applications in drug delivery and tissue engineering. *Biomaterials*. Vol. 29. P. 1989–2006 (2008).
- [2] K. Ghosal et al. Electrospinning over Solvent Casting: Tuning of Mechanical Properties of Membranes. *Sci. Rep.*, Issue November 2017. P. 1–9 (2018).
- [3] A. Camposo, F. Di Benedetto, R. Stabile, A. A. R. Neves, R. Cingolani, and D. Pisignano. Laser Emission from Electrospun Polymer Nanofiber. *Small nano micro*. Vol. 5. Issue 5. P. 562–566 (2009).
- [4] KM Raghvendra and L. Sravanthi. Fabrication Techniques of Micro / Nano Fibres based Nonwoven Composites: A Review. *Mod. Chem. Appl.* Vol. 5, no. 1. P. 1–11 (2017).
- [5] A. Valizadeh and S. M. Farkhani. Electrospinning and electrospun nanofibres. *IET Nanobiotechnology*. Issue October. P. 1–10 (2015).

УСЛОВИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Пушин Д.В., Гунько М.С., Назаров М.А.

*Самарский государственный технический университет, Самара
89277246822, mityapuschin@yandex.ru*

В настоящее время все более очевидной становится необходимость строительства новых и модернизации существующих систем обработки жидких отходов промышленных предприятий [1]. Задача снижения отрицательного воздействия на экологию путем повышения качества очистки стоков и сопутствующего уменьшения количества ситуаций, приводящих к необходимости выплаты штрафов, на наш взгляд наиболее эффективно может быть решена путем разработки новых подходов, методов и инструментов автоматического управления процессами извлечения загрязнений из жидких отходов предприятий [2].

Следует отметить, что повышение уровня автоматизации сооружений очистки сточных вод в основном затруднено рядом условий:

- очистные сооружения представляют собой сложную взаимосвязанную систему, осуществляющую многостадийный технологический процесс;
- их компоновка индивидуальна для каждого промышленного предприятия;
- работа водоочистных систем многих заводов характеризуется значительной неравномерностью поступления сточных вод и большими амплитудами колебаний степени их загрязнения;
- протекающие в установках водоочистки процессы отличаются существенными нестационарностью и нелинейностью;
- зачастую имеет место проблема несовершенства (с точки зрения точности и диапазона измерений, возможности работы в сложных средовых условиях и т.д.) устройств непрерывного контроля технологических переменных или принципиальной невозможностью измерения в реальном времени важных характерных параметров автоматизируемого процесса.

Разрешение обозначенных противоречий возможно осуществить при помощи создания и внедрения интегрированной автоматизированной системы управления (АСУ) очистными сооружениями промышленного предприятия с широким использованием приемов интеллектуализации. Такой подход требует проведения ряда предварительных мероприятий [3], и, в частности, системного анализа процессов, синтеза алгоритмов оптимизации и работы АСУ, математического описания объектов управления, определения структуры интегральной АСУ и ее подсистем, настройки ее регуляторов. Последовательное решение этих задач позволит достичь поставленных производством целей – повышения качества и энергоэффективности процессов очистки стоков, сокращения финансовых затрат на реагенты, снижения вероятности возникновения нештатных и аварийных режимов, более длительной эксплуатации используемого оборудования.

Литература

1. Степанов С.В., Солкина О.С., Морозова К.М., Степанов А.С., Соколова Т.В., Жукова М.А. Биологическая очистка сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранном биореакторе (часть 1). Водоснабжение и санитарная техника. № 12. С. 28-34 (2016).
2. Назаров М.А., Гунько М.С., Пушин Д.В. Моделирование процесса аэрации сточных вод в сатураторе поверхностного типа как объекта автоматизации. Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. № 3. С. 16-25 (2018).
3. Гунько М.С., Пушин Д.В., Назаров М.А. Идентификация технологических процессов и установок очистки сточных вод как объектов автоматизации. Современные проблемы физики и технологий. VII-я Международная молодежная научная школа-конференция: тезисы докладов. Ч. 1. С. 279-280 (М.: НИЯУ МИФИ, 2018).

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ

Русаков Д.Ю.¹, Чернушин В.А.¹, Нахабов А.В.²

¹ АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», г. Обнинск

² ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

89206176536, tигра47@gmail.com

Сотовые конструкции из полимерных композиционных материалов (ПКМ) широко применяются в изделиях авиационно-космической техники [1]. Неразрушающий контроль (НК) является особо ответственной операцией при производстве подобных изделий. В результате НК должна обеспечиваться высокая достоверность данных, цель которых – дать полную информацию о типе, глубине залегания и размерах обнаруженных дефектов.

Наиболее распространёнными методами поискового НК сотовых конструкций являются: импедансный [1] и теневой ультразвуковой [2]. В качестве экспертного НК используют методы: свободных колебаний, тепловой, томографический, рентгенографический и др.

Для проведения эксперимента был изготовлен образец, представляющий собой многослойную конструкцию с углепластиковыми обшивками толщиной 1 мм и стеклопластиковым сотовым наполнителем высотой 10 мм, в котором были симитированы непрочности сотового наполнителя и обшивки, и расслоение в обшивке. Имитация дефектов осуществлялась закладкой фольги в форме клина в соответствующем месте до формования конструкции. С последующим удалением фольги, и образованием необходимого зазора – имитатора непрочности или расслоения.

Импедансным и теневым методами были выявлены оба имитатора дефектов в образце. Данные методы имеют высокую производительность (особенно теневой в автоматизированном виде), но дают неполную информацию о дефектах. Импедансный метод, благодаря совмещённому и раздельно-совмещённому преобразователям, позволяет косвенно оценить глубину расположения дефекта. Значительным же недостатком теневого

метода является полное отсутствие информации о глубине расположения дефекта.

Для получения подробной информации по дефектам необходимо применение дополнительных методов НК, которые не всегда обладают высокой производительностью, зачастую энергозатратны, для их реализации требуется дорогостоящее оборудование, но позволяют улучшить достоверность полученных результатов.

На примере контроля образца тепловым методом покажем процесс идентификации дефектов в сотовых конструкциях. На рисунке 1 показаны термограммы, полученные в ходе контроля образца активным тепловым методом. Оба дефекта характеризуются отсутствием областей с пониженной температурой поверхности в местах клеевого соединения сотового заполнителя с обшивкой. Расслоение на термограмме имеет четкие границы и характеризуется большим, по сравнению с непрочлеем, повышением температуры поверхности образца в дефектной зоне. Таким образом, применение теплового контроля позволяет идентифицировать дефекты, обнаруженные другими методами НК.

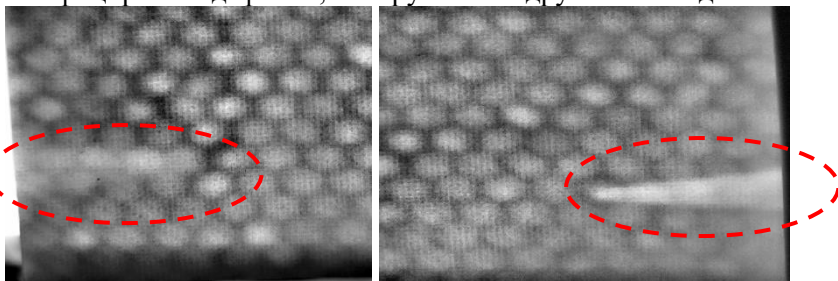


Рис.1. Термограммы образца. Имитатор непрочлея обшивки с сотовым заполнителем (слева), имитатор расслоения в обшивке (справа).

Литература

1. Ланге Ю.В. Акустические низкочастотные методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций. - М.: Машиностроение, 1991. - 272 с.
2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7т. Под общей редакцией В.В. Клюева. ТЗ: Ультразвуковой контроль/И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. - М.: Машиностроение. 2004. - 864 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЕВЫХ ПОЛИМОРФОВ НИТРИДА БОРА

Ряшенцев Д.С., Беленков Е.А.

*Челябинский государственный университет, Челябинск
8(908)-700-89-22, ryashentsev_dmitry@mail.ru*

Слоевые разновидности нитрида бора имеют структуру подобную структуре графеновых слоев [1-3]. Преимуществом этих соединений перед графеном является то, что их свойства не металлические, а полупроводниковые. Это делает слоевые нитридборные соединения перспективным материалом для электроники. Кроме экспериментально синтезированного гексагонального нитрида бора возможно существование других структурных разновидностей. В данной работе теоретически исследована структура и электронные свойства полиморфов NB-L₆ и NB-L₄₋₆₋₁₂.

Расчет геометрически оптимизированной структуры и электронных свойств нитридборных соединений был выполнен методом теории функционала плотности (градиентное приближение). Элементарные ячейки изученных слоев относятся к гексагональной сингонии. В ячейке слоя NB-L₆ содержится два атома, а в ячейке слоя NB-L₄₋₆₋₁₂ – 12 атомов (рис. 1). В слое NB-L₆ длины межатомных связей одинаковые (1.452 Å). Слой NB-L₄₋₆₋₁₂ характеризуется тремя длинами связи (1.400, 1.518, 1.468 Å).

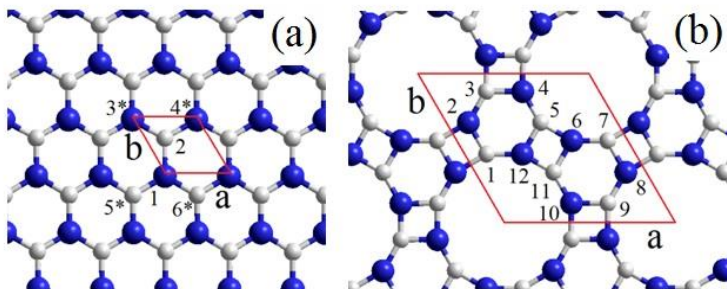


Рис.1. Геометрически оптимизированная структура и элементарные ячейки полиморфных разновидностей нитрида бора:
(a) NB-L₆; (b) NB-L₄₋₆₋₁₂.

В результате расчетов зонной структуры и плотности электронных состояний (Рис. 2) установлено, что ширина запрещенной зоны гексагонального нитрида бора составляет 4.69 эВ, в то время как для слоя NB-L₄₋₆₋₁₂ запрещенная зона меньше – 3.90 эВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

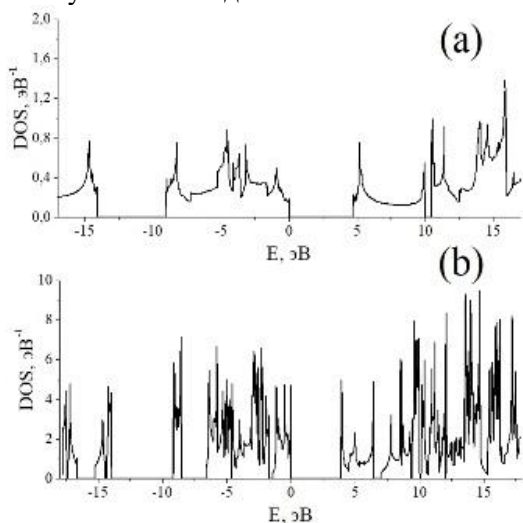


Рис.2. Плотность электронных состояний полиморфных разновидностей нитрида бора: (a) NB-L₆; (b) NB-L₄₋₆₋₁₂

Литература

1. А.Е. Коченгин, Т.Е. Беленкова, В.М. Чернов, Е.А. Беленков. Моделирование трёхмерной структуры кристаллических разновидностей графена. Челябинский физико-математический журнал. №25(315). С.40-47 (2013).
2. Е.А. Belenkov, А.Е. Kochengin. Structure and electronic properties of crystals consisting of graphene layers L₆, L₄₋₈, L₃₋₁₂ and L₄₋₆₋₁₂. Physics of the Solid State. Vol. 57. P. 2126–2133 (2015).
3. А.Е. Коченгин, Е.А. Беленков. Новые полиморфные разновидности графена, сформированные из карбиновых цепочек. Перспективные материалы. № 2. С. 5-13 (2017).

РАСЧЕТ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТОНКОЙ ПРОВОДЯЩЕЙ ПРОВОЛОКИ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С УЧЕТОМ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ФУКСА

Савенко О.В., Кузнецова И.А.

*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль
тел.: 89159801340, e-mail: cryak92@mail.ru*

Актуальность данной работы обусловлена бурным развитием нанотехнологий происходящим в последнее десятилетие. Минимальный характерный линейный размер проводящих объектов составляет порядка нанометров. При комнатной температуре в типичных полупроводниках диапазон значений длины свободного пробега носителей заряда $\lambda = 50 \div 1000$ нм, а длина волны де Бройля $\lambda_B \sim 10$ нм. Для металлов с хорошей проводимостью – $\lambda = 10 \div 100$ нм, а длина волны де Бройля порядка межатомного расстояния $\lambda_B \approx 0.3$ нм. Ситуация, когда для описания электрических свойств образцов необходимо учитывать классические размерные эффекты, но можно пренебречь квантовыми, реализуется на практике.

Влияние магнитного поля на электрические свойства тонких проволок исследовалось в работах [1, 2]. В работе [1] решена задача о высокочастотной электропроводности тонкой металлической проволоки в продольном магнитном поле для модели диффузно-зеркальных граничных условий Фукса, а в работе [2] аналогичные расчеты проведены для тонкой проводящей проволоки с учетом диффузных граничных условий

В настоящей работе рассматривается тонкая проводящая проволока, помещенная в продольное постоянное магнитное и поперечное переменное электрическое поле. Неравновесная функция распределения ищется решением кинетического уравнения Больцмана в приближении времени релаксации и в линейном по внешнему полю приближении. В качестве граничных условий используется модель Фукса. Неравновесная функция распределения позволяет найти плотность тока, полный ток и интегральную проводимость.

Получено аналитическое выражение для проводимости, как функции от безразмерных параметров: радиуса проволоки, частоты электрического поля, индукции магнитного поля, химического потенциала и коэффициента зеркальности поверхности. Рассмотрены предельные случаи вырожденного и невырожденного электронного газа. Исследованы зависимости модуля и аргумента безразмерной проводимости от вышеуказанных параметров. Проанализирован вклад объемных и поверхностных столкновений носителей заряда в полную интегральную проводимость. Проведено сравнение результатов, полученных для случаев вырожденного и невырожденного электронного газа.

Выполнен сравнительный анализ результатов с экспериментальными данными для четырех проволок меди [3]. Проиллюстрирован эффективный метод определения параметров объемного и поверхностного рассеяния носителей заряда по измерению продольного магнетосопротивления тонкой металлической проволоки. Проанализирована зависимость длины свободного пробега в объеме образца от радиуса проволоки. Показано, что с уменьшением радиуса длина свободного пробега уменьшается.

Литература

1. Э.В. Завитаев, А.А. Юшканов. Зависимость электрической проводимости тонкой цилиндрической проволоки в продольном магнитном поле от характера отражения электронов. ЖЭТФ. Т.130. Вып.5. С.887-894 (2006).
2. O.V. Savenco, I.A. Kuznetsova and A.A. Yushkanov. The high-frequency conductivity of a thin semiconductor wire in the longitudinal magnetic field. Journal of Physics: Conference Series. Vol.643., №12090. P.1-6 (2015).
3. V. Kuckhermann, G. Thummes and H.H. Mende. Influence of the real Fermi surface on the longitudinal magnetoresistance size effect of single crystal copper whiskers. Phys. Stat. Sol. (a). Vol.73. P.439-445 (1982).

ВЛИЯНИЕ ПРОСЛОЕК Cr НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО ФЕРРИМАГНЕТИКА Fe/Gd

**Савицкий А.О.¹, Дровосеков А.Б.¹, Крейнс Н.М.¹, Холин Д.И.¹,
Макарова М.В.², Проглядо В.В.², Кравцов Е.А.²**

¹ *Институт физических проблем им. П.Л.Капицы РАН, Москва*

² *Институт физики металлов им. М.Н.Михеева УрО РАН, Екатеринбург
тел. +7 (916) 748-44-31, e-mail: sao1992@mail.ru*

Слоистые структуры на основе переходных (3d) и редкоземельных (4f) ферромагнитных (ФМ) металлов, такие как Fe/Gd, представляют собой модельные ферримагнитные системы, демонстрирующие богатую магнитную фазовую диаграмму [1]. В последнее время комбинированные 3d-4f структуры, в которых ФМ слои разделены немагнитными прослойками, рассматриваются как возможные системы для создания материалов с большим магнитным моментом при комнатной температуре [2]. В частности, в качестве прослойки предлагался хром, который мог бы инициировать сильный ФМ обмен между слоями редкоземельных и переходных металлов, что привело бы к усилению магнитного момента и высокой температуре Кюри в таких комбинированных системах [3].

В настоящей работе изучается влияние тонких прослоек хрома на кристаллическую структуру и магнитные свойства сверхрешетки Fe/Gd. Многослойные пленки $[\text{Fe}(35\text{\AA})/\text{Cr}(t)/\text{Gd}(50\text{\AA})/\text{Cr}(t)]_{12}$ без прослоек Cr и с тонкими прослойками ($t \approx 4\text{\AA}$) получены методом высоковакуумного магнетронного напыления. Структурные исследования выполнены методом рентгеновской дифракции. Магнитные свойства изучались методами СКВИД магнитометрии, магнитооптического эффекта Керра (МОЭК) и ферромагнитного резонанса (ФМР) в широком интервале температур 4 – 300 К и анализировались теоретически с использованием численного моделирования на основе модели среднего поля [4].

Полученные данные свидетельствуют о сильном подавлении антиферромагнитной (АФМ) связи между слоями Fe и Gd при введении прослоек Cr, а также модификации структурных и магнитных характеристик самих ФМ слоев.

Для образца без прослоек Cr ФМ слои демонстрируют редуцированные значения намагниченности насыщения по сравнению с объемными Fe и Gd. Этот эффект можно объяснить высокой степенью структурного беспорядка и аморфности выращенных ФМ слоев, а также несовершенством межслойных границ, приводящим к существованию переходного слоя с уменьшенной намагниченностью из-за сильной АФМ связи между атомами Fe и Gd («эффект близости»). Введение прослоек Cr между слоями Fe и Gd, по-видимому, подавляет этот эффект, что приводит к наблюдаемому увеличению средней намагниченности в слоях Fe. В то же время в структуре Fe/Cr/Gd наблюдается уменьшение обменной жесткости слоев Gd и возрастающее влияние магнитных доменов на магнитные свойства образца. Эти эффекты, по-видимому, связаны с образованием ГЦК-кристаллитов в слоях Gd при введении прослоек Cr в структуру Fe/Gd. Наличие таких кристаллитов в сверхрешетке Fe/Cr/Gd проявляется при исследовании рентгеновской дифракции образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-37-00182).

Литература

1. R.E. Camley. Handbook of Surface Science. Vol.5, P.243 (2015).
2. G. Scheunert *et al.* Appl. Phys. Rev. Vol.3, P.011301 (2016).
3. B. Sanyal *et al.* Phys. Rev. Lett. Vol.104, P.156402 (2010).
4. A.B. Drovosekov, N.M. Kreines, A.O. Savitsky, E.A. Kravtsov, M.V. Ryabukhina, V.V. Proglyado, V.V. Ustinov. Magnetization and ferromagnetic resonance in Fe/Gd multilayer: experiment and modelling. J. Phys. Cond. Mat. Vol.29, P.115802 (2017).

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕХАТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ОРГАНИЗАЦИИ ЭНТЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЧЕРЕЗ НАЗОГАСТРАЛЬНЫЙ ЗОНД

**Савостеенко Н.В., Усынин Ю.С., Дудкин М.М.,
Максимов Н.М.**

*Южно Уральский государственный университет, Челябинск, Россия
+79000602125 nikita.epa@gmail.com*

В отделении реанимации клинических больниц находятся тяжелобольные лежачие пациенты, которым необходимо обеспечить введение питательных веществ с помощью назогастрального зонда. В данный момент процесс осуществляется медицинским персоналом с использованием устаревших приборов. К зонду подключается пакет со стандартной питательной смесью, в состав которой входят белки, жиры, углеводы и клетчатка в легко усваиваемой форме. Питание из сосуда хранения перетекает в желудок пациенту. По окончании всей процедуры кормления мед работник должен отсоединить систему подачи питания от пациента [1]. Убрать контейнер и излишки неусвоенной смеси.

Существующая на данный момент система имеет ряд существенных недостатков:

- избыток неусвоенной питательной смеси в желудке пациента;
- отсутствие регулирования скорости подачи питательной смеси;
- сложность создания состава питательной смеси подходящего для конкретного больного;
- обслуживание данной системы требует большое количество человеко-часов.

Целью работы является снижение срока реабилитации больных после операционного вмешательства за счет совершенствования процесса энтерального питания через назогастральный зонд.

Задачи: – создание автоматизированного мехатронного комплекса для организации энтерального питания через назогастральный зонд;

- создание алгоритма расчета оптимального соотношения компонентов питающего состава и объема вводимого количества смеси.

Основная идея комплекса состоит в том, чтобы производить приготовление питающего раствора с учетом индивидуальных особенностей пациента (рост, вес возраст, пол), и автоматически осуществлять процедуру кормления.

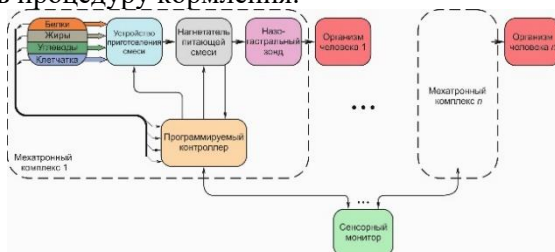


Рис. 1. Функциональная схема автоматизированного мехатронного комплекса для организации энтерального питания через назогастральный зонд

Предлагаемый комплекс, функциональная схема которого приведена на рисунке 1, состоит из следующих основных элементов: контейнер для хранения компонентов смеси, электромагнитные клапаны, устройство для приготовления индивидуальной питательной смеси, нагнетатель, назогастральный зонд, программируемый логический контроллер, сенсорный монитор и **отличается** от существующих аналогов оригинальным мехатронным комплексом, обеспечивающим надежность системы. Процесс приготовления питательной смеси в предлагаемом комплексе полностью автоматизирован, что является еще одной отличительной особенностью. Для определения процентного соотношения компонентов индивидуальной питательной смеси, управления мехатронным комплексом и осуществления контроля за параметрами системы **разработана** программа для программируемого логического контроллера.

Предлагаемый автоматизированный мехатронный комплекс имеет ряд значительных преимуществ относительно существующих на сегодняшний день аналогов.

Литература

1. Луфт В.М., Костюченко А.Л. Клиническое питание в интенсивной медицине. Практическое руководство. СПб.: РСЗ АСПЭП, 2002. 174 с.

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА Mn_2YAl И Co_2FeZ

***Семянникова А.А.¹, Ирхин В.Ю.¹, Доможирова А.Н.¹,
Перевозчикова Ю.А.¹, Коренистов П.С.^{1,2}, Марченков В.В.^{1,2}***

¹ *Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург*

² *Уральский федеральный университет, Екатеринбург*

+7(950)647-17-56, e-mail: semiannikova@imp.uran.ru

Главной особенностью полуметаллических ферромагнетиков (ПМФ) является наличие щели на уровне Ферми для электронных состояний со спином вниз и отсутствие щели для носителей тока со спином вверх [1]. В простом приближении среднего поля это означает 100% спиновую поляризацию носителей тока. В других перспективных для применения в спинтронике материалах – спиновых бесщелевых полупроводниках (СБП) – присутствует широкая ($\Delta E \sim 1$ eV) щель вблизи энергии Ферми для одной проекции спина носителей тока, а для противоположной имеется нулевая энергетическая щель. Такие материалы позволяют совместить свойства ПМФ с полупроводниковыми характеристиками с возможностью тонкого регулирования величины энергетической щели, то есть, управления электронными свойствами.

Известно [2], что изменения электронной структуры (плотности электронных состояний вблизи уровня Ферми E_F), а, следовательно, и физических свойств, проявляются по-разному при варьировании либо Y -, либо Z -компоненты в соединениях Гейслера X_2YZ , так как Y – это 3d-переходные металлы, а Z – элементы III-V группы Периодической таблицы. При этом могут наблюдаться переходы от обычного (магнитного и немагнитного) металлического и полупроводникового состояний в состояние ПМФ, затем в состояние СБП и обратно.

Цель работы – проследить за изменением электрических, магнитных и гальваномагнитных свойств сплавов Гейслера Mn_2YAl ($Y = Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$) и Co_2FeZ ($Z = Al, Si, Ga, Ge, In, Sn, Sb$), которые свидетельствуют об изменении их электронной структуры.

Получены температурные зависимости электросопротивления в широком интервале температур от 4.2 до 1000 К. При $T = 4.2$ К измерены полевые зависимости магнитосопротивления и эффекта Холла в магнитных полях до 100 кЭ, а намагниченности – в полях до 70 кЭ. Рассматриваемые системы демонстрируют сильный ферромагнетизм либо скомпенсированный ферримагнетизм, причем возможны фазовые переходы с изменением магнитной структуры. Обнаружен ряд аномалий электронных и магнитных свойств сплавов Гейслера Mn_2YAl и Co_2FeZ . Эти аномалии могут быть проявлением особенности электронного энергетического спектра, проявляющихся в возникновении состояний ПМФ или СБП.

В области низких температур в сплавах Co_2FeZ наблюдается степенная зависимость сопротивления от температуры с показателем степени около 4, что может быть проявлением ПМФ-состояния. В сплавах Mn_2YAl наблюдаются участки с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, что указывает на близость к состоянию СБП с исчезающе малой энергетической щелью. Обнаруженные аномалии в температурной зависимости намагниченности сплавов Mn_2FeAl и Mn_2NiAl , которые коррелируют с аномалиями электросопротивления, указывают на проявление фазовых переходов с изменением магнитной структуры.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (темы «Спин», № АААА-А18-118020290104-2 и «Квант», № АААА-А18-118020190095-4) при частичной поддержке РФФИ (проекты № 18-02-00739 и № 18-32-00686), Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-10-2-37) и Правительства РФ (постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006).

Литература

1. M.I. Katsnelson, V.Yu. Irkhin, L. Chioncel et al. Half-metallic ferromagnets: From band structure to many-body effects. *Rev. Mod. Phys.* Vol.80. P.315 (2008).
2. V.V. Marchenkov, Yu.A. Perevozchikova, N.I. Kourov et al. Peculiarities of the electronic transport in half-metallic Co-based Heusler alloys. *JMMM*. Vol.459. P.211 (2018).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА

Силкин А.В.

*Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ,
г. Тамбов
+7(915)603-00-31, a.v.silkin@protonmail.com*

В настоящее время в области радиолокации, гидролокации, акустики вызывают интерес многопозиционные системы определения параметров движения источников излучения, основанные на эффекте Доплера [1, 2].

В докладе рассмотрен элемент многопозиционной системы (рисунок 1): объект, движущийся с постоянной скоростью V по прямолинейной траектории и излучающий сигнал с неизвестной частотой f_0 , и приемная позиция, принимающая сигнал от источника излучения с частотой

$$f(t) = f_0 \left(1 + \frac{V \cos(\varphi(t))}{c} \right), \quad (1)$$

где c – скорость распространения сигнала, φ – угол между направлением движения объекта и приемной позицией.

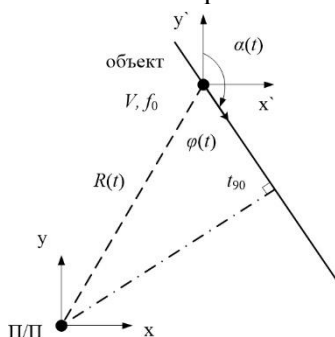


Рис.1. Элемент многопозиционной системы
На основе преобразования (1) получено выражение

$$\frac{df(t)}{dt} = -\frac{f(t) - f(t_{90})}{t_{90} - t} \left(\frac{\frac{1}{t_{90} - t} \int_t^{t_{90}} f(t) dt - f(t)}{\frac{1}{t_{90} - t} \int_t^{t_{90}} f(t) dt - f(t_{90})} \right)^2 \quad (2)$$

где t_{90} – момент времени соответствующий значению $\varphi = 90^\circ$.

Показано, что, применяя аппроксимацию измерений частот принимаемого сигнала, выражение (2) позволяет оценить такие параметры объекта, как скорость движения V , расстояние до объекта R и частоту излучения f_0 .

Рассмотрен вопрос об объединении измерений от нескольких приемных позиций с целью определения координат источника излучения.

Приведены результаты моделирования, подтверждающие эффективность предлагаемого подхода.

Литература

1. Y.-T. Chan, F. Jardine. Target Localization and Tracking from Doppler-Shift Measurements. IEEE Journal of Oceanic Engineering. Vol.15. Issue 3. P.251-257 (1990).

2. Ф.Н. Ковалев. Определение координат движущихся целей по измерениям доплеровской частоты в радиолокационных системах с обнаружением «на просвет». Радиотехника и электроника. Т.52. № 3. С.331-339 (2007).

ПРИРОДА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ $\lambda=640-670$ НМ

***Слипченко Е.А., Сорокин Т.А., Абрамова Е.Н., Яковенко А.Г.,
Хорт А.М.***

*МИРЭА – Российский технологический университет. Физико-
технологический институт, Москва.
8(916)315-85-31, slipchenko-katya@mail.ru*

Несмотря на огромное число работ, посвященных исследованиям фотолюминесценции (ФЛ) пористого кремния (ПК) с $\lambda=640-670$ нм при комнатной температуре, природа явления, обуславливающего ФЛ до настоящего времени остается дискуссионной. Наиболее широкое распространение получила теория, где ФЛ ПК объясняется перестройкой зонной структуры Si вследствие квантово-размерного эффекта [1-2]. Однако, хорошо известен и ряд экспериментальных данных (не укладывающихся в эту теорию) объясняющих возникновение ФЛ влиянием различных химических центров на поверхности ПК. Поэтому определение природы центров и механизмов их образования будет, возможно, способствовать выработке единого представления о природе этого явления. Анализ поведения этих центров при внешних воздействиях на ПК может уточнить или даже определить природу возникновения данного излучения.

В работе использовался n- и p-Si марки КЭФ и КДБ с удельным сопротивлением 0,0005-100 Ом*см. Кристаллографическая ориентация образцов $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$. Пористый кремний был получен электрохимическим травлением. Травителем являлся раствор фтористоводородной кислоты (массовая доля HF 49 %) в воде/спирте в соотношении 15:7 объемных частей. Плотность тока 10-100 мА/см² и время 25 мин травления. С целью изучения ФЛ, полученные образцы ПК подвергались низкотемпературному отжигу при температуре $T=500$ С° в различных средах: на воздухе, в вакууме с остаточным давлением 10⁻⁵ мм. рт. ст., в атмосфере инертного газа (особо чистый Ar, He). Время отжига выбиралось от 1 до 60 минут. После проведения низкотемпературного отжига образцы подвергались хранению в разных средах: на воздухе, в

осушенном воздухе во влажной атмосфере воздуха, вакууме с остаточным давлением 10^{-5} мм. рт. ст.. Анализ структуры и параметров слоёв ПК проводился с использованием метода электронной микроскопии (JSM-7401F «JEOL» и FEI), получение ИК-спектров – спектрофотометр SPECORD M80, а также исследовании спектров фотолюминесценции (СДЛ 1).

Исследовано влияния низкотемпературного отжига ПК в различных атмосферах с последующим хранением образцов на воздухе на характер его ФЛ с $\lambda=640-670$ нм. Впервые обнаружен и объяснен эффект восстановления ФЛ с $\lambda=640-670$ нм на образцах ПК, подвергавшихся низкотемпературному отжигу с последующим хранением на воздухе. Определено, что фотолюминесценция ПК с $\lambda=640-670$ нм, связана с присутствием на поверхности ПК различных химических центров типа Si-Hn, Si-OH. Предложены химические процессы, обуславливающие формирование на поверхности ПК центров типа Si-Hn, Si-OH в процессе электрохимического травления.

Литература.

1. А.А. Ищенко, Г.В. Фетисов, П.А. Асланов. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы использования и контроля. (М: ФИЗМАТЛИТ. 2011).
2. L. Canham editor. Handbook of porous silicon. (Springer International Publishing Switzerland. 2014).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОИНТЕРКАЛИРОВАННОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО ГРАФЕНА

Смирнова Д.А., Беленков Е.А.

*Челябинский государственный университет, Челябинск
+7 (351) 7997117, daria.alek.smirnova@gmail.com*

Автоинтеркалированные углеродные соединения состоят из взаимно вложенных структурных элементов. Отдельные структурные элементы, состоят из углеродных атомов связанных между собой ковалентными связями, объемная структура автоинтеркалированных соединений формируется за счет Ванн-дер-Ваальсовых связей между структурными элементами. В качестве отдельных элементов могут выступать различные углеродные наноструктуры – карбиновые нанокольца, фуллерены, нанотрубки, карбиновые цепочки и др. из которых могут быть сформированы различные автоинтеркалированные соединения [1-4]. В данной работе исследована автоинтеркалированная фаза, получающаяся при взаимном вложении гексагональных графеновых слоев.

Исходная автоинтеркалированная структура была модельно построена при взаимном вложении стопок слоев гексагонального графена, плоскости которых были взаимно перпендикулярны друг другу. Расстояние между слоями в стопках соответствовало удвоенному межатомному расстоянию в слоях. Для первичных расчетов геометрически оптимизированной структуры был использован методом MM2, который был хорошо апробирован ранее при моделировании углеродных наноструктур [3,4]. Анализ структуры автоинтеркалированного соединения показал, что при его образовании происходит сильная деформация структуры графеновых слоев – значительно увеличиваются длины межатомных связей (рис. 1a). В результате дальнейших расчетов методом теории функционала плотности в градиентном приближении (DFT-GGA) установлено, что структура автоинтеркалированной фазы оказалась неустойчивой и трансформировалась при оптимизации в гибридную фазу из sp^2+sp^3 атомов (рис. 1b). Вероятно, для получения авторинтеркалированных фаз необходимо использовать L_{3-12} и L_{4-6} .

12 графеновые слои с рыхлой структурой и минимальной плотностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

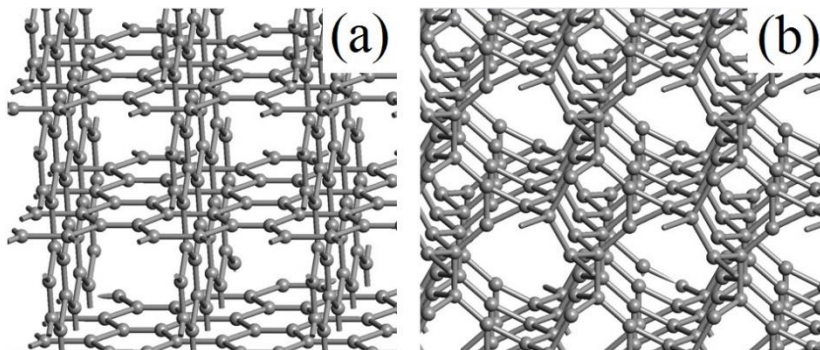


Рис.1. Геометрически оптимизированная структура автоинтеркалированного соединения на основе гексагональных слоев графена, рассчитанная методом MM2 (a) и структура фазы, получившейся после оптимизации методом DFT-GGA (b).

Литература

1. Е.А. Беленков, Ф.К. Шабиев. Структура новых углеродных фаз из карбиновых наноколец. Кристаллография. Т.52(2). С.359-364 (2007).
2. Е.А. Беленков. Трёхмерная структура многослойных углеродных нанотрубок. Челябинский физико-математический журнал. Т. 1(4). С. 102-111 (2016).
3. Е.А. Беленков, Ф.К. Шабиев. Структура углеродных нанотрубок, содержащих цепочки из углеродных атомов. Известия Челябинского научного центра УрО РАН. № 4(30). С. 34-39 (2005).
4. Э.И. Беленкова. Моделирование электронных устройств на основе углеродных нанотрубок. В книге: Актуальные проблемы микро- и наноэлектроники. Сборник тезисов докладов V Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием. Отв. ред. Р.З Бахтизин. С. 14. (2018).

ФОРМИРОВАНИЕ NV-ЦЕНТРА В АЛМАЗЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕОРТОГОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СИЛЬНОЙ СВЯЗИ

**Смирнова М.О.^{1,2}, Голованов А.В.³, Лунарев Н.В.³, Тарелкин С.А.³,
Трофимов С.Д.³, Трощев С.Ю.³**

¹ НИЯУ «МИФИ», г. Москва

² МОУ «Институт Инженерной Физики», г. Серпухов

³ Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных
материалов (ТИСНУМ), г. Москва, г. Троицк

Моб.тел: +7 909 951 20 64, e-mail: mosmirnova@yandex.ru

Квантовые информационные системы применяются при создании квантовых компьютеров, квантовых коммуникационных и метрологических систем и др. Работа таких устройств основана на квантовомеханическом подходе и использовании таких явлений как суперпозиция и запутывание, что позволяет достичь принципиально более высокой производительности и защищенности каналов связи от несанкционированного доступа.

В настоящее время проводятся активные исследования по разработкам упорядоченной матрицы, состоящей из большого количества кубитов (элементарных ячеек памяти квантового устройства), которую можно рассматривать как основу для квантовых регистров памяти. Для ее создания требуется выполнение следующих условий: наличие хорошо изолированной системы, состояние которой можно инициализировать и контролировать, и масштабируемость. Среди многих изученных систем NV-центр стал наиболее привлекательным кандидатом на роль кубита [1], благодаря своим атомно-подобным свойствам и жесткой локализации в кристаллической решетке алмаза.

Для создания упорядоченного массива, состоящего из NV-центров, требуется развитие технологии их формирования с заданными свойствами и известными координатами. Общий подход образования центров состоит из нескольких этапов: формирование азотных примесей, формирование вакансий и высокотемпературный отжиг, который приводит к объединению атома азота и вакансии в стабильный NV-центр. Количество и качество получившихся

дефектов определяется способом создания и концентрацией вакансий/азотных дефектов, температурой и временем отжига.

В представленной работе проведено молекулярно-динамическое моделирование процесса слияния вакансии с азотной примесью. Расчеты проводились в рамках неортогонального потенциала сильной связи [2], применимого для атомов углерода с разными типами гибридизации. Уравнения Ньютона интегрировались с временным шагом 0.2 фс при помощи скоростного алгоритма Верле [3]. Алмаз представлялся ячейкой C_{64} , помещенной в периодические граничные условия. Температура поддерживалась постоянной при помощи термостата Андерсена [4]. Расчет проводился при различных температурах и длился до тех пор, пока не произойдет слияния вакансии и примеси. Температурная зависимость времени слияния позволила оценить энергию активации этого процесса.

Литература

1. L. Childress and R. Hanson, MRS Bulletin 38 134 (2013)
2. M.M. Maslov, A.I. Podlivaev, L.A. Openov, Nonorthogonal tight-binding model for hydrocarbons. Physics Letters A. Vol. 373. P. 1653-1657 (2009)
3. Loup Verlet. Computer "Experiments" on Classical Fluids. I. Thermodynamical Properties of Lennard-Jones Molecules. Physical Review. Vol.159. P. 98–103 (1967)
4. H.C. Andersen. Molecular dynamics simulations at constant pressure and/or temperature. The Journal of Chemical Physics. 72, 2384 (1980)

ПОРТАТИВНЫЙ КОНЦЕНТРАТОР КИСЛОРОДА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОЙ МЕМБРАННО-СОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Тишин А.А.

*НИЯУ МИФИ, Москва
+79167743449, alexzfrai@gmail.com*

В настоящее время на российском рынке представлено значительное количество концентраторов кислорода. При этом большая часть концентраторов импортируются из таких стран как США, Германия и Китай. Отечественные разработки зачастую проигрывают зарубежным по габаритам, производительности, мощности и стоимости. В основе работы современных концентраторов кислорода лежит принцип короткоциклового безнагревной адсорбции (КБА) [1]. На его основе ведутся перспективные отечественные разработки концентраторов кислорода [2], однако в массовое производство данные концентраторы до сих пор не поступили. Кроме того КБА концентраторы имеют ряд технологических недостатков: в процессе работы установок адсорбция происходит при переменном давлении, вследствие чего сорбент перемещается и происходит его истирание; для регенерации сорбционных свойств сорбента часть полученного в процессе разделения кислорода возвращается обратно в установку. Мембранная технология получения кислорода и концентраторы на ее основе также присутствуют на рынке, однако область их применения в значительной мере ограничивается свойствами современных мембранных материалов, которые не позволяют получить концентрацию кислорода выше 50 % при разделении на одной мембранной ступени [3].

Разработка и создание концентратора кислорода на основе гибридной мембранно-сорбционной технологии должна обеспечить возможность получения кислорода за счет эффективного сочетания преимуществ каждого из методов разделения. Исследованию возможности эффективного комбинирования технологий в одном устройстве в последние годы уделяется значительное внимание [4].

В настоящей работе предложены схемы портативного концентратора кислорода с использованием напорной (рис. 1а) и вакуумной (рис. 1б) схем. Обе схемы состоят из сорбционной ступени представленной двумя объединенными параллельно адсорберами (А1, А2), и мембранного модуля (ММ) на вход, которого поступает продуктовый поток сорбционной ступени, а отвалный поток используется для регенерации сорбента в адсорберах. В напорной схеме используется одноступенчатый компрессор, и регенерация адсорбента происходит при атмосферном давлении, вакуумная схема работает с использованием двухступенчатого компрессора обеспечивающего регенерацию при пониженном давлении.

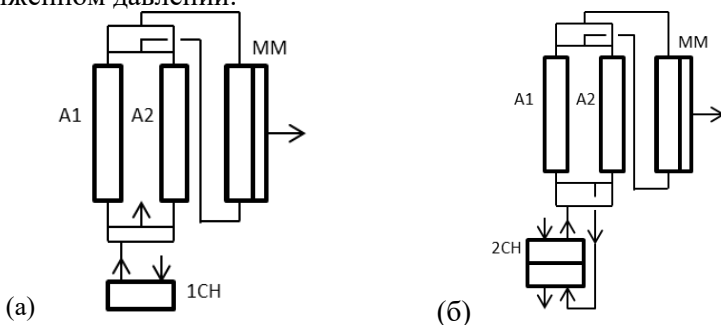


Рис.1. Схема портативного концентратора кислорода: напорная (а) и вакуумная (б)

Литература

1. Матвейкин В. Г. и др. Математическое моделирование и управление процессом короткоцикловой адсорбции (М:Издательство Машиностроение-1. 2007).
2. Акулинин Е. И. Математическое моделирование процессов, протекающих в портативных установках короткоцикловой безнагревной адсорбции //Успехи в химии и химической технологии. – 2008. – Т. 22. – №. 1 (81).
3. Марченко А.А. Процессы и аппараты мембранной технологии (газоразделение) (М: Филинь, 2018).
4. Tishin A. A. et al. Use of a Hybrid Membrane–Sorption System with Three Adsorbers for Producing Oxygen-Enriched Air //Petroleum Chemistry. – 2018. – Т. 58. – С. 338-345.

СОЗДАНИЕ ОДНОКОНТУРНОЙ АСР С ПИ-ПОДОБНЫМ НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Ткачев К.М., Королев С.А., Толоконский А.О.

*Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ», г. Москва, Россия*

Любой вид промышленности, как правило, использует стандартные типовые решения для регулирования: П, И, ПИ, ПИД, ПД – регуляторы [1].

Существуют и альтернативные методы решения задач регулирования. Например, использование нечеткой логики, базируемой на теории нечетких множеств, разработанной Лофти Заде в 1965г [2]. Для настройки нечеткого регулятора, достаточно иметь представление о том, как должна работать АСР, т.е. следует использовать экспертные знания. Это избавляет настройщика подобной системы от математических вычислений в ходе поиска настроек системы. Однако точность данного решения сомнительна.

Чтобы пролить свет на данный вопрос, можно провести опыт по созданию и настройке ПИ-подобного нечеткого регулятора, затем сравнить его с традиционным ПИ-регулятором. В качестве АСР была выбрана одноконтурная система регулирования температуры перегретого пара на выходе из прямооточного котла ТЭС, с передаточной функцией объекта регулирования:

$$W(s) = \frac{0.53e^{-69.02s}}{(128.17s + 1)^2}$$

На рис.1 представлен тестовый проект, реализованный в среде Matlab Simulink. Настройки ПИ-регулятора были найдены в среде Mathcad 14: $k_n = 2.13$, $k_u = 0.012$. Процессы регулирования при подаче единичного ступенчатого возмущения по каналам задания и регулирования приведены на рис.2.

Процессы в АСР с нечетким регулятором имеют большую колебательность. Стоит отметить, что АСР с ПИ-регулятором лучше обрабатывает возмущение по каналу регулирования.

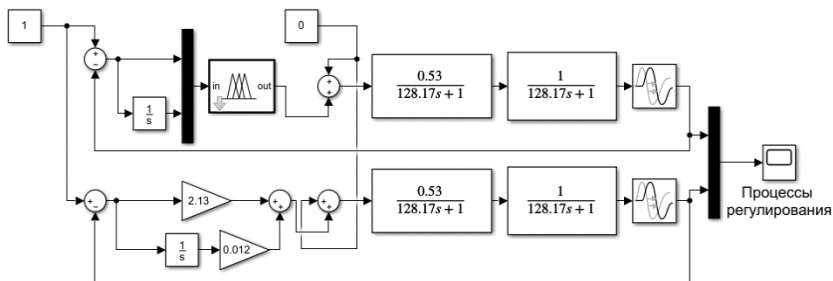


Рис.1. Одноконтурные АСР с ПИ-подобным нечетким регулятором и ПИ-регулятором

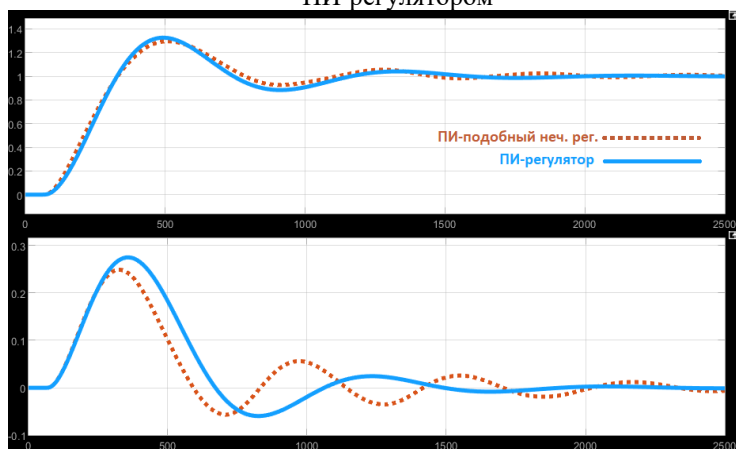


Рис.2. Одноконтурные АСР с ПИ-подобным нечетким регулятором и ПИ-регулятором

Литература

1. В. Я. Ротач. “Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами”. М.: Издательский дом МЭИ, 2008 г.
2. Леоненков А.В. “Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH”. СПб.: “БХВ-Петербург”, 2003 г.
3. Круглов В.В. “Нечеткая логика и искусственные нейронные сети” М.: “Физматлит”, 2001 г.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ СТЕРЖНЕПОДОБНЫХ ЧАСТИЦ

Чиркова В.В.

*Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия
8(8512)246632, valyffkin@mail.ru*

В реальных системах, наполненных вытянутыми частицами и подверженных вибрации, наблюдается ориентационное упорядочение и самоорганизация этих частиц [1]. Упорядочение и самоорганизация в системе сильно меняют ее физические свойства, например, электрические свойства. Такие явления представляют особый интерес в связи с производством транзисторов на тонких пленках и элементов питания. Модельные исследования помогают выявить основные факторы, приводящие к самоорганизации частиц, а также предсказать свойства реальных систем. Целью данной работы является выявление механизмов, приводящих к формированию структур в двумерных системах стержнеподобных частиц, подверженных вибрации, на основе анализа результатов моделирования.

Исследования проводились с помощью решеточных моделей, с использованием метода Монте-Карло. Пространство представляло собой решетку размером $L_x \times L_y$. Моделирование проводилось как в квадратных ($L_x = L_y$), так и в прямоугольных системах ($L_x \neq L_y$). Абсолютно жесткие частицы, представляющие собой прямоугольники размером $1 \times k$ единиц решетки, были размещены на решетке без перекрытия с использованием случайной последовательной адсорбции до заданной концентрации. Две взаимно перпендикулярные ориентации частиц были равновероятными.

В состоянии джамминга частицы одинаковой ориентации образуют стеки типичного размера $k \times k$. После осаждения частицам позволяли совершать случайные блуждания. Один временной шаг Монте-Карло, соответствующий попытке смещения всех частиц в системе, принимался за единицу времени.

Исследования проводились для двух различных типов частиц с разной кинетикой: «слепых» [2] и «близоруких» [3]. «Слепая» частица с равной вероятностью выбирает для смещения одно из

четырёх возможных направлений. Такое поведение сходно с диффузией обычных частиц, оно подчиняется принципу детального равновесия. «Близорукая» частица с равной вероятностью выбирает направление смещения только среди направлений, в которых смещение возможно. В случае «близоруких» частиц, движение которых напоминает поведение частиц внутри активных коллоидов, принцип детального равновесия не выполняется.

Исследование влияния начальной концентрации частиц [4] и формы области [5] на образование структур показало, что система стремится к хорошо организованному неравновесному стационарному состоянию в виде диагональных полос для относительно длинных прямоугольников только в некотором диапазоне начальных концентраций и только для некоторых значений отношения L_x/L_y в случае «близоруких» частиц (Рис.1). В результате случайного блуждания частиц система переходит в состояние, в котором частицы имеют большую подвижность, чем в начальном состоянии, т.е. самоорганизация имеет энтропийную природу [6].

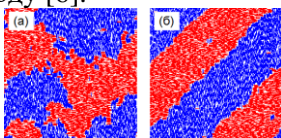


Рис.1. Примеры структур при $t_{MC} = 10^7$ числе шагов МК: а) «слепые» частицы, б) «близорукие» частицы

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-07-00343.

Литература

1. M. González-Pinto, F. Borondo, Y. Martínez-Ratón, E. Velasco. *Soft Matter*. Vol.13. Issue 14. P.2571–2582 (2017).
2. P.-G. de Gennes. *La Recherche*. Vol.7. No.72. P.919–927 (1976).
3. C. D. Mitescu, J. Roussenq. *Ann. Israel Phys. Soc.* Vol.5. P.81–100 (1983).
4. Yu.Yu. Tarasevich, A.V. Eserkepov, V.V. Chirkova, V.A. Goltseva. arXiv:1809.00790.
5. Yu.Yu. Tarasevich, V.V. Laptev, V.V. Chirkova, N.I. Lebovka. *J. Phys. Conf. Ser.* Vol.1136. P.012015 (2018).
6. D. Frenkel. *Physics World*. Vol.6, No.2. P.24 (1993).

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРА МОДИФИЦИРОВАННОГО ГРАФЕНА

Шарин Е.П., Евсеев К.В.

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
ekv97@mail.ru*

Графен обладает такими физическими свойствами как высокая подвижность носителей заряда, гигантская теплопроводность, высокая удельная площадь поверхности, механическая прочность и гибкость. Эти свойства графена делают его перспективным материалом для широкого применения в гибкой электронике, нанoeлектронике, устройствах преобразования и хранения энергии. Широкое применение графена в электронных устройствах ограничивается отсутствием запрещенной зоны.

Химическая модификация графеновых слоев имеет большое значение для разработки новых материалов поскольку не только открывает запрещенную зону, но и дает возможность управлять ее шириной. Поэтому одним из направлений исследований таких систем является химическая функционализация.

Данная работа посвящена расчету зонной структуры и плотности состояний функционализированного графена в зависимости от концентрации азота и его относительного расположения. В работе рассматриваются суперячейки графена 3×3 и 5×5 с допированными атомами азота.

Все вычисления проводились с использованием программы Quantum Espresso. В основе лежит метод псевдопотенциала с использованием плоских волн в рамках теории функционала плотности (DFT). Влияние остовных электронов учитывалось путем использования ультрамягких псевдопотенциалов. Использовался нелокальный обменно-корреляционный функционал в параметризации Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE). Энергия обрезания плоских волн для самосогласованного расчета составляла 40 Ry. Для интегрирования линейной зоны Бриллюэна была использована сетка $13 \times 13 \times 1$ в обратном пространстве. Для вычисления электронной структуры монослоя использовалась изолированная плоская структура. Во избежание взаимодействия между слоями расстояние

между ними устанавливалось равным 15 \AA .

В ходе работы было запущено по 6 задач для каждой суперячейки графена: N1 (с одним атомом), N2_AA (с двумя атомами на одной подрешетке), N2_AB (с двумя атомами на разных подрешетках), N3_AAA (с тремя атомами на одной подрешетке), N3_AAB (с тремя атомами, где первые два на одной подрешетке и третий на другой) и N3_ABA (с тремя атомами, где первые два одной подрешетке с третьим атомом между ними). По полученным результатам для каждой из задач построены графики зонной структуры и плотности состояний, где в случае суперячейки 5×5 с двумя допированными азотами AA и AB можно наблюдать расширение запрещенной зоны. Исходя из этого можно прийти к выводу, что, изменяя концентрацию и расположение допированного азота на кристаллической решетке можно управлять шириной запрещенной зоны.

Список публикаций:

[1] D. Usachov, O. Vilkov, A. Greuneis, D. Haberer Nitrogen-doped graphene: efficient growth, structure, and electronic properties // Nano Lett., 11 (2011), pp. 5401-5407

[2] Roshni Yadav Synthesis, characterization and prospective applications of nitrogen-doped graphene: A short review

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОРООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕКСТУРИРОВАННЫХ И ПОЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ КРЕМНИЯ

Шишкин И.А., Лизункова Д.А.

*Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королева, Самара
+7 (927) 908-35-96, daria.lizunkova@yandex.ru*

Процесс порообразования в кремниевых структурах при электрохимическом травлении на сегодняшний день имеет достаточно большое количество моделей, объясняющих в той или иной мере физические закономерности данного явления. В работах [1,2] предложен ряд физических моделей, объясняющих отдельные аспекты процессов порообразования, исходя из представлений о неустойчивости к малым периодическим возмущениям планарной границы раздела кремний–электролит в условиях электрохимического травления и локализации анодного тока на вогнутой поверхности дна прорастающих пор. В большинстве разработанных моделей порообразования не учитывается влияние микрорельефа на поверхности кремниевой пластины, где граница раздела анод–электролит обычно считается планарной. В данной работе решалась задача о построении физико-математической модели, описывающей распределение поля в электролите и на поверхности образца, распределение скорости протекания электрохимического травления, а также была построена двумерная карта распределения концентрации электролита в порах (рис.1 и рис.2). Компьютерное моделирование поля проводилось с помощью программного пакета COMSOL Multiphysics.

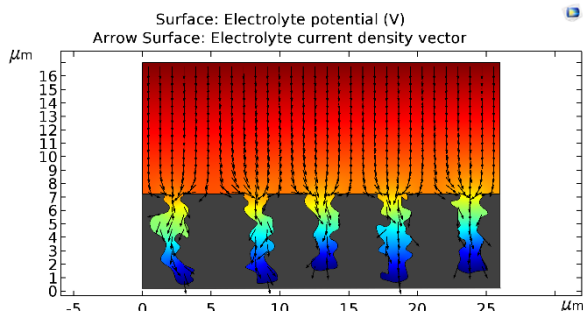


Рис.1. Распределение поля и потенциала в электролите при электрохимическом травлении полированного кремния

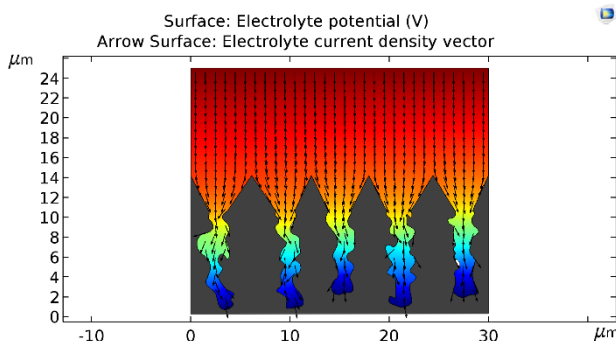


Рис.2. Распределение поля и потенциала в электролите при электрохимическом травлении текстурированного кремния

Литература

1. Е.А. Сакун, А.В. Полюшкевич, П.А. Харлашин, О.В. Семенова, А.Я. Корец / Разработка пористых структур на кремнии/Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 4 (2010 3) 430-443
2. К.Б. Тыныштыкбаев, Ю.А. Рябикин, С.Ж. Токмолдин, Т. Айтмукан, Б.А. Ракыметов, Р.Б. Верменичев//Морфология пористого кремния при длительном анодном травлении в электролите с внутренним источником тока. //Письма в ЖТФ, 2010, том 36, вып. 11.с.104-110

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СКРУЧЕННЫЕ МАГНИТНЫЕ СОСТОЯНИЯ В СВЕРХРЕШЕТКЕ Fe/Gd

Юрканов Д.В.,¹ Савицкий А.О.,² Дровосеков А.Б.,² Крейнс Н.М.,² Холин Д.И.²

¹ Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

² Институт физических проблем им. П.Л. Капицы, РАН, Москва, Россия
e-mail: dmyuv94@mail.ru

Слоистые структуры Fe/Gd являются искусственными ферромагнетиками, демонстрирующими богатую фазовую диаграмму [1]. В последние годы интерес к ним неожиданно возрос в связи с перспективой их применения для реализации сверхбыстрого лазерного перемагничивания [2]. Ранее путём подробного анализа данных ФМР и SQUID-магнитометрии было показано [3], что помимо коллинеарных и объёмных скрученных состояний в таких сверхрешётках может реализовываться поверхностное скрученное состояние, когда геликоидальный разворот намагниченности реализуется лишь вблизи одной из поверхностей образца (см. рис. 1).

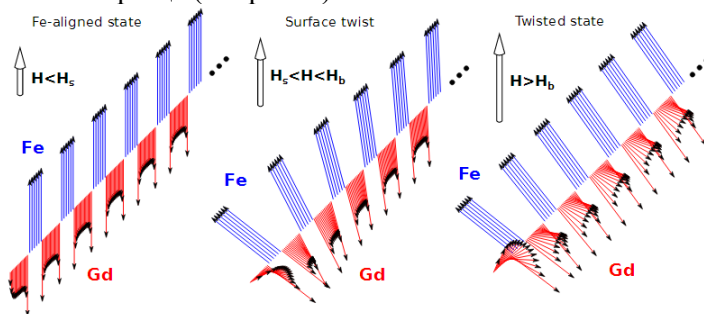


Рис.1. Схема, демонстрирующая различные типы скрученных состояний в сверхрешетке Fe/Gd

В данной работе мы используем магнитооптический эффект Керра (МОЭК) для прямого наблюдения поверхностных скрученных состояний в сверхрешетке $[\text{Fe}(35 \text{ \AA})/\text{Gd}(50 \text{ \AA})]_{12}$, выращенной методом магнетронного напыления на стеклянной подложке. Измерения МОЭК были выполнены в температурном

диапазоне 4–300 К и показали наличие точки компенсации при температуре $T_{\text{comp}} \approx 90$ К. Пользуясь прозрачностью подложки, мы проводили измерения при отражении луча как от верхней, так и от нижней поверхности плёнки. Поскольку совокупная толщина сверхрешётки существенно превосходила глубину проникновения света, такая методика позволила наглядно продемонстрировать разницу между коллинеарными, объёмными и поверхностными скрученными состояниями сверхрешетки (рис. 2), а также построить фазовую диаграмму таких состояний. Полученные результаты в целом подтвердили выводы, сделанные ранее на основе анализа данных ФМР и статической намагненности [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-37-00182-«мол. а»).

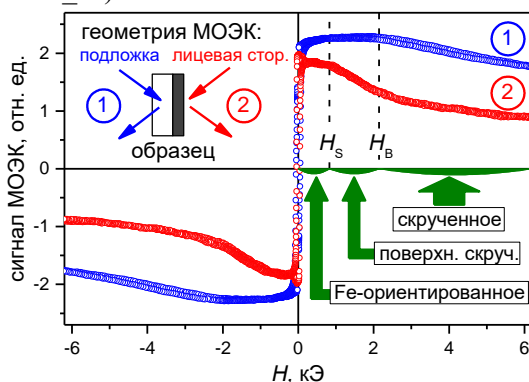


Рис.2. Методика определения типа упорядочения сверхрешетки по форме кривых МОЭК, измеренных на двух сторонах образца

Литература:

1. R.E. Camley, Handbook of Surface Science 5, 243–295 (2015).
2. S. Mangin, et al., Nat. Mater. 13, 286 (2014).
3. A.B. Drovoskov, et al., J. Phys.: Condens. Matter 29, 115802 (2017).

Ядерное, электрофизическое
приборостроение,
машиностроение

Nuclear, electrical engineering,
mechanical engineering

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

***Белендрасова Е.Г.¹, Панасенко Р.А.¹, Тутнов И.А.^{1,2},
Ануфриев Б.Ф.¹***

¹ *Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»
(Московский Инженерно-физический Институт), Москва*

² *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва*

8-985-847-44-05, egbelendryasova@mephi.ru

Скорость ползучести образцов ядерного топлива зависит от температуры, но распределение температуры неравномерно. Цель данной работы — определение эффективной (эквивалентной) температуры [1,2], постоянной в объеме топливного образца и характеризующей скорость ползучести при реальном (неравномерном) распределении температур.

Скорость радиационной ползучести в зависимости от напряжения и температуры:

$$\xi = A\sigma^n \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (1)$$

где A — константа, σ — напряжение, Q — энергия активации ползучести, R — универсальная газовая постоянная.

Рассмотрим цилиндрический образец и введем цилиндрическую систему координат $\{r, \varphi, z\}$ с центром на его нижней грани. Пусть температурное распределение по образцу $T(r, \varphi, z)$. Разобьем образец на N частей по радиусу, M цилиндрических секторов и K частей по высоте. Эффективная температура образца имеет вид:

$$T_{\varphi\phi} = -\frac{Q}{R} \left[\ln \left(\sum_{k=1}^K \exp \left(-\frac{Q}{RT_{\varphi\phi k}} \right) \right) \right]^{-1}, \quad (2)$$

где

$$T_{\varphi k} = \frac{Q}{nR} \left[\ln \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \exp \left(\frac{Q}{nRT_{ijk}} \right) \right) \right]^{-1}. \quad (3)$$

Распределение температуры в образце определялось с помощью ПК ANSYS, см. рисунок 1. Для верификации расчетов использовались экспериментальные данные, полученные при внутриреакторных испытаниях уран-гадолиниевого топлива.

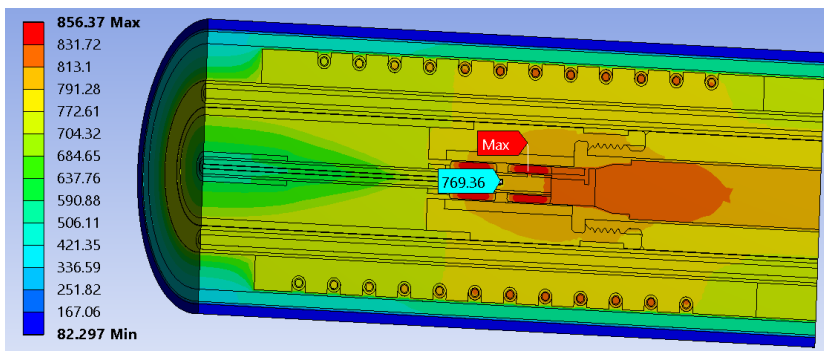


Рис.1. Распределение температуры по облучательному устройству экспериментальной установки для исследования ползучести

Эксперименты проводились при температуре в полости образцов 550 — 870°C. Соответствующие эффективные температуры топлива на 60 — 70°C превышали экспериментальные в центре полости.

Литература

1. J. Perrin. Effect of irradiation on creep of $\text{UO}_2\text{--PuO}_2$. Journal of Nuclear Materials. Vol.42. P.285-296 (1972).
2. Е.М. Михеев, А.В. Федотов, В.В. Новиков и др. Методика и результаты исследования радиационной ползучести крупнозернистого топлива на основе диоксида урана. Атомная энергия. Т116. №1. С.15–20 (2014).

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

***Белендрясова Е.Г.¹, Панасенко Р.А.¹, Ануфриев Б.Ф.¹,
Тутнов И.А.^{1,2}***

*¹ Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»
(Московский Инженерно-физический Институт), Москва*

*² Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва*

8-985-847-44-05, egbelendryasova@mephi.ru

Данная работа посвящена разработке экспериментального устройства для внутриреакторных испытаний ядерного топлива. Актуальность работы обусловлена получением достоверных экспериментальных данных по реакторному поведению уран-гадолиниевого топлива ВВЭР/PWR в стационарном режиме работы реактора, что необходимо для лицензирования такого топлива на зарубежных рынках.

Цель данной работы — разработка экспериментального устройства для исследования радиационной ползучести уран-гадолиниевого ядерного топлива.

Было разработано экспериментальное устройство, позволяющее измерять деформацию облучаемых образцов. Рабочий участок установки (см. рисунок 1) состоит из молибденовой ампулы с образцами и поджимающего устройства. Два образца, разделенные молибденовой шайбой (высотой 3 мм) нагружались давлением 2 — 40 МПа при температуре 500 — 950°C. Необходимая температура достигалась с помощью нагревателя, навитого на графитовый корпус. При указанных условиях эффективная температура [1, 2] образцов составляла 612 — 936°C.

Деформация образцов определялась преобразователем ПИРТ [3] с помощью измерительного штока. Внутри штока датчика перемещений в центре полости образцов помещена термопара (хромель-алюмель). Погрешность измерения деформации составляла 1 мкм.

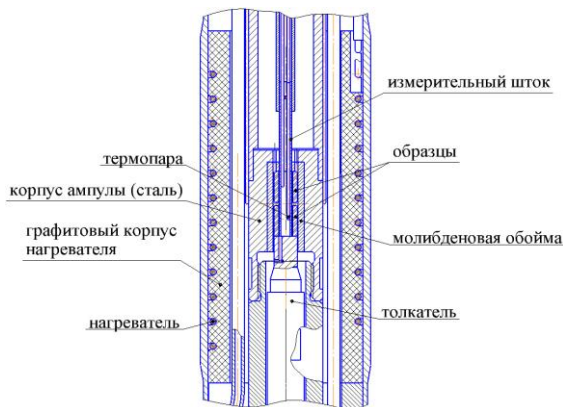


Рис.1. Рабочий участок экспериментального устройства

Блок питания и обработки сигнала предназначен для обеспечения работы датчика ПИРТ и его связи с управляющим и регистрирующим компьютером. Передача данных от ПК происходит с помощью драйвера RS-485. Для устранения помех от ПК использована оптронная развязка.

Литература

1. J. Perrin. Effect of irradiation on creep of $\text{UO}_2\text{--PuO}_2$. Journal of Nuclear Materials. Vol.42. P.285-296 (1972).
2. Е.М. Михеев, А.В. Федотов, В.В. Новиков и др. Методика и результаты исследования радиационной ползучести крупнозернистого топлива на основе диоксида урана. Атомная энергия. Т116. №1. С.15–20 (2014).
3. В.Б. Малыгин, В.Н. Ремезов, А.А. Силин и др. Обобщение опыта эксплуатации преобразователей перемещения при внутри-канальных исследованиях. (М: Энергоатомиздат. 1988).

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ТЕРМОПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ОБРАЗЦОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА СЖАТИЕ

***Белендрясова Е.Г.¹, Панасенко Р.А.¹, Ануфриев Б.Ф.¹,
Тутнов И.А.^{1,2}***

*¹ Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»
(Московский Инженерно-физический Институт), Москва*

*² Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва*

8-985-847-44-05, egbelendryasova@mephi.ru

При внутриреакторных испытаниях вследствие интенсивной тепловой нагрузки образцы топлива могут испытывать значительные термические напряжения. Чтобы не допустить разрушения образцов, нужно подбирать их толщину.

Термические напряжения в образце в виде полый втулки прямо пропорциональны энерговыделению в образце и обратно пропорциональны теплопроводности [1]:

$$\sigma^{(T)} \propto \frac{\alpha E q_v}{(1-\nu)\lambda}, \quad (1)$$

где α — коэффициент термического расширения, E — модуль Юнга, q_v — энерговыделение, ν — коэффициент Пуассона, λ — коэффициент теплопроводности.

Распределение напряжений зависит от перепада температуры. Моделируя температурное поле и выполняя термopрочностной расчет, определяем максимальное эквивалентное напряжение в образцах, см. рисунок 1. На рисунке представлено распределение эквивалентных напряжений в образцах уран-гадолиниевого ядерного топлива для эффективной температуры [2, 3] 936 °С, поджатия 40 МПа, среднего энерговыделения 120 Вт/см³ и толщины 1,53 мм. Образцы разделены молибденовой шайбой. Если максимальное напряжение в образцах при данном энерговыделении превышает предел прочности, то толщину образца следует уменьшить.

В расчетах учитывалась ползучесть образцов. Скорость ползучести принималась в виде закона Нортона от напряжения и закона Аррениуса от температуры, то есть:

$$\dot{\xi} = A\sigma^n \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (2)$$

где A — константа, Q — удельная энергия активации ползучести, R — универсальная газовая постоянная, T — температура.

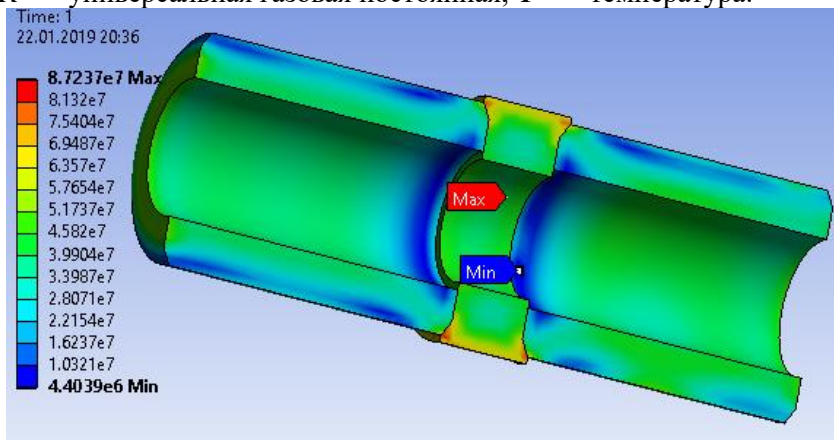


Рис.1. Распределение эквивалентных напряжений по образцам при эффективной температуре 936 °С, внешней нагрузке 40 МПа, среднего энерговыделения 120 Вт/см³ и толщины 1,53 мм

Постоянные A , n и Q определялись экспериментально

Литература

1. Б.А. Дементьев. Ядерные энергетические реакторы. (М: Энергоатомиздат. 1990).
2. J. Perrin. Effect of irradiation on creep of UO₂-PuO₂. Journal of Nuclear Materials. Vol.42. P.285-296 (1972).
3. Е.М. Михеев, А.В. Федотов, В.В. Новиков и др. Методика и результаты исследования радиационной ползучести крупнозернистого топлива на основе диоксида урана. Атомная энергия. Т116. №1. С.15–20 (2014).

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ПОРОШКОВ В ПРОЦЕССЕ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ

***Бирюков А.П., Родько И.И., Божко Ю.В., Барышев Г.К.,
Черных П.О., Кормашова Д.И.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

8-963-777-19-09, bir.sasha@rambler.ru

Как показывает практика получения холоднопрессованных порошков в матрицах, когда отношение высоты засыпки к диаметру более десяти, наблюдается значительная неоднородность плотности по высоте засыпки. Для полного исключения пористости в процессе приготовления исходной заготовки применяют методы интенсивной пластической деформации [1]. Однако в данном случае возникает необходимость в контроле текущего значения плотности.

Вышеуказанная задача может решаться путем проектирования систем слежения за изменениями плотности в процессе прессования. Для автоматизации и эффективного управления процессом прессования порошков требуется разработка систем позиционирования датчиков контроля уровня засыпки и сбора информации о состоянии прессуемого порошка.

В целях решения вышеуказанной задачи был разработан специальный испытательный стенд, работающий по методу измерения электрического сопротивления (рисунок 1). Данный метод обеспечивает возможность оценки плотности порошка в зависимости от прикладываемого давления.

Измерение электросопротивления порошка проводилось по двум методам: по четырёхпроводной и потенциометрическим схемам. Для контроля плотности порошка в процессе прессования использовались датчики, устанавливаемые на подвижной каретке. В зависимости от высоты засыпки применялись измерительные схемы с одним или несколькими датчиками.

Для регистрации результатов измерений была разработана информационно-измерительная система, включающая в себя протокол обмена данных между ПК и цифровым мультиметром и виртуальный прибор, обеспечивающий отображение на экране

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering
монитора текущих и интегральных значений сопротивления. Создание программного обеспечения для решения поставленной задачи осуществлялось в среде программирования NI LabVIEW.

Разработанный стенд может быть модернизирован до полноценной автоматизированной информационно-аналитической системы для отработки технологических операций холодного прессования.

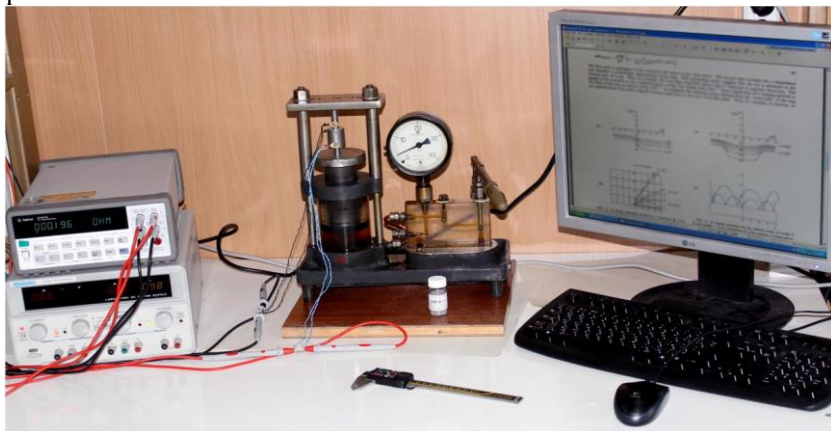


Рис.1. Общий вид испытательного стенда контроля плотности порошков методом сопротивлений при холодном прессовании
Литература

1. О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, З.Г. Бикбаева. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий. (Томск: Томский политехнический университет, 2008).

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

**РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Гошкодеров В.А., Гошкодерова Е.А., Сурин В.И.

*НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия
89166111079, vovagosh@mail.ru*

Получение информации о состоянии материалов, контролируемых изделий или оборудования на всех этапах жизненного цикла – основная задача диагностики. В большинстве случаев контроль необходимо проводить без выведения объекта из рабочих условий, без демонтажа. Для решения данной задачи необходимо использовать такие системы неразрушающего контроля (НК), которые обладают относительной простотой, мобильностью и не требуют использования габаритного оборудования [1].

Представленная в докладе система предназначена, в том числе, и для НК сварных соединений и других поверхностей.

Опираясь на поставленные требования заказчика, была выбрана элементная база системы НК, на основе которой предложена компоновка устройства. С использованием средств автоматизированного проектирования разработана конструкция мобильного устройства НК, проведена разработка модулей и созданы 3D модели деталей для их производства и сборки.

Выбор компоновки устройства и разработка его конструкции осуществлялась с учетом накладываемых на него требований к условиям использования, а также основываясь на методе его последующего производства. Изготовление конструктивных элементов данной системы осуществлено из полиамида EOS PA2200, методом селективного лазерного спекания (SLS метод), что обеспечило необходимые характеристики устройства, которые полностью удовлетворяют заявленным требованиям [2].

После изготовления прототипа устройства была проведена серия тестов, подтверждающих работоспособность данного устройства, а также НК специально подготовленного образца.

В докладе представлена принципиальная схема устройства,

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering
описаны составные части и модули, а также приведены результаты
тестовой проверки.

Литература

1. Сурин В.И., Волкова З.С., Абу Газал А.А., Алвахеба А.И., Альсмади Э.Х. Новый метод неразрушающего контроля: особенности и перспективы применения. Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. М., 2018 г, т. 21, с. 48-53.
2. EOS GmbH – Electro Optical Systems. PA 2200. Material Datasheet. 2008

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

3D-ПРИНТЕР ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МАЛЫХ ЖИЛЫХ И ПОДСОБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

**Ефремов Н.С., Николаенко А.В., Бирюков А.П., Юдин И.А.,
Конашенкова Н.А., Герасимов Д.Ю.**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва
8-999-679-74-14, gellerrt@gmail.com*

Современные инновационные 3D-технологии развиваются достаточно быстро и всё больше внедряются в различные сферы деятельности человека. Строительная область не стала исключением в отношении применения 3D-печати. В настоящее время существуют технологии и устройства для печати как малых архитектурных форм, так и зданий в целом [1].

Особую ценность использование вышеуказанного метода представляет для горнодобывающей и научно-исследовательской деятельности поскольку зачастую имеется необходимость постройки ряда жилых и подсобных помещений для небольших по численности рабочих или исследовательских групп в короткие сроки и минимальными трудозатратами.

Для решения обозначенной задачи был разработан специальный строительный 3D-принтер (рисунок 1). Механизм осуществляет движение в цилиндрической системе координат за счёт электродвигателя с редуктором и принципиально устроен аналогично башенному крану. Печатающее сопло перемещается в цилиндрической системе координат посредством трёх приводов. Поднятие печатающего элемента установки обеспечивается тремя пневмоцилиндрами, нагнетаемыми компрессором. Движение стрелы в радиальном направлении также обеспечивается пневмоцилиндрами.

В общем случае, рабочий включает установку, при помощи компрессора, подсоединенного к установке, в шланг, соединяющий 3D-принтер с компрессором, накачивается быстрозастывающая цементная смесь, которая далее проходит через корпус конструкции и вытекает через сопло, перемещаемое стрелой под управлением специализированного программного обеспечения. Специальный

цементный раствор укладывается методом экструдирования, что позволяет значительно упростить строительные работы, так как исключается необходимость в опалубке. Устройство позволяет выполнять постройку помещения габаритами 10х2х7 метров со скоростью печати до 10 м/мин.

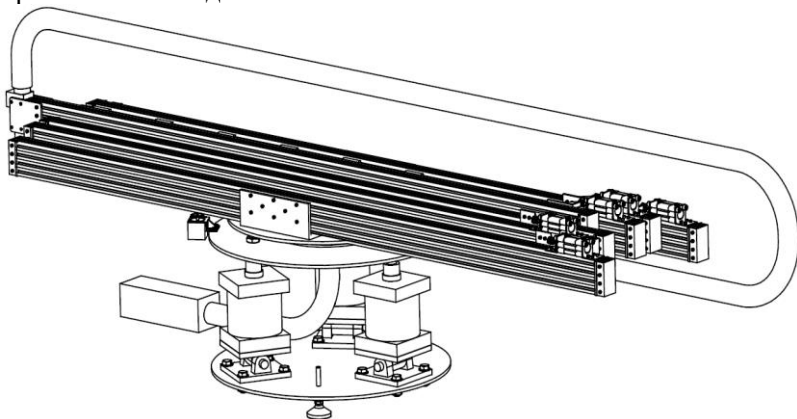


Рис.1. Модель 3D-принтера для строительства малых жилых и подсобных помещений

Литература

1. Д.А Лунева, Е.О. Кожевникова, С.В. Калошина. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития. (Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. Том 8. №1, 2017).

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К СЖИЖЕНИЮ

Карасева М.Д.¹, Гуркин В.Н.^{1,2}

¹ Публичное акционерное общество «Аквасервис», Москва

² РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

конт. тел.: +7 (916) 471 91 36, e-mail: rita09karaseva@mail.ru

Осушка и удаление диоксида углерода – важная стадия процесса подготовки природного газа к сжижению. Конденсат паров воды и диоксид углерода может приводить к повреждениям сжижающего оборудования.

Для удаления паров воды из природного газа могут применяться различные методы: абсорбция, адсорбция [1], мембранные [2] и гибридные [3] технологии. Адсорбционная осушка газов широко применяется в промышленности, по некоторым данным в процессе адсорбции можно достичь точки росы -90°C [4]. Применение нескольких методов позволит снизить энергозатраты и повысить эффективность системы осушки [5]. Широкое развитие короткоцикловой безнагревной адсорбции и мембранных технологий способно заменить устаревшие технологии. А такое преимущество, как отсутствие стадии нагревания и охлаждения, позволят снизить эксплуатационные затраты.

Природный газ в магистральном газопроводе, согласно СТО Газпром 089-2010, состоит из метана и примесей: диоксида углерода 2.5 об.% и паров воды 0.001 об.%. В осушенном и очищенном потоке продукта) содержание диоксид углерода не должно быть более 0.01 об.%, а содержание пары воды не должно превышать концентрацию, соответствующую точке росы -55°C ($8.71 \cdot 10^{-5}$ об.%).

Для решения поставленной задачи разработана гибридная система осушки природного газа, которая состоит из адсорбционного, рефрижераторного и мембранного блоков. Адсорбционный блок состоит из трех адсорберов, заполненных твердым адсорбентом, хорошо поглощающим пары воды и диоксид углерода, соединенных параллельно и поочередно проходящих стадии: заполнения, продуцирования и регенерации.

Рефрижераторный блок состоит из осушителя на элементах Пельтье и сепаратора циклонного типа. Рефрижераторный блок сперва охлаждает газа до 3°C, в сепараторе отделяется конденсат, затем нагревает газ до температуры 20-30°C. Затем газ поступает в полволоконный мембранный модуль, в котором газ дополнительно осушается и удаляется диоксид углерода.

Преимуществом такой системы заключается в том, что из системы выводятся пары воды и диоксид углерода, а продуктовый поток содержит осушенный и очищенный природный газ. Однако процесс КБА сложнее в реализации по сравнению с адсорбцией с нагреванием и требует настройки и оптимизации для правильной работы.

Работа профинансирована Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение №14.576.21.0097. Уникальный идентификационный номер RFMEFI57617X0097.

Литература:

1. А.С. Сергунин и др. Исследование динамики адсорбции и десорбции паров воды активным оксидом алюминия и цеолитом NaX //Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18. – №. 3.
2. М.Д. Карасева, М.М. Трубянов, А.А. Атласкин, И.В. Воротынцев, Н.И. Лагунцов, П.Н. Дроздов. Удаление следовых количеств воды из оксида диазота в мембранном каскаде // Мембраны и Мембранные Технологии, 2019, том 9, № 2, с. 90–100
3. I.M. Kurchatov et al. Hybrid solutions of compressed gas drying //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. – Т. 1099. – №. 1. – С. 012033.
4. А.А. Паранук, В.А. Хрисониди Промышленное применение молекулярных сит //Интерактивная наука. – 2016. – №. 5.
5. А.Х.А. Али, М.С. Рогалев, Р.З. Магарил. Способ повышения эффективности процесса абсорбционной осушки природного и попутного нефтяного газа гликолями. Влияние давления. Часть 1 //Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2012. – №. 3. – С. 97-100.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ
ДЕФЕКТОСКОПИИ ПРИ ВХОДНОМ КОНТРОЛЕ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБ**

***Клауз А.В., Бирюков А.П., Токарев А.Н., Мошев А.А.,
Черных П.О., Герасимов Д.Ю.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва
8-915-113-47-59, artem.klauz@gmail.com*

Как известно, входной контроль проводят с целью предотвращения запуска в производство продукции, не соответствующей требованиям, изложенным в ГОСТе или ТУ на трубные детали и договоров на поставку [1]. На сегодняшний день в целях обеспечения надлежащего качества инструментальный контроль (второй этап входного контроля) может включать в себя широкое использование различных информационно-измерительных и информационно-аналитических систем диагностирования.

В современных условиях потребность контроля качества магистральных труб заказчиком после длительного транспортирования или хранения партий продукции является крайне необходимой. В то же время дополнительно накладываются требования по упрощению операций и уменьшению времени входного контроля.

Для решения вышеуказанной задачи была разработана конструкция автоматизированного стенда для дефектоскопии магистральных труб, базирующимся на поиске внутренних дефектов ультразвуковым методом (рисунок 1). Ключевым преимуществом данной системы является возможность сканирования датчиком любой из точек объекта контроля. Система позиционирования датчика состоит из ременной передачи, которая имеет возможность располагать датчик вдоль оси трубы по всей её длине, и фрикционной передачи, обеспечивающей плавный и точный ход вращения трубы вокруг ее оси. Поджим преобразователя к рабочей поверхности диагностируемого объекта осуществляется с помощью упругого элемента, что исключает возможность повреждения трубы, так и быстрого выхода из строя самого датчика.

В качестве информационно-измерительной системы можно использовать имеющиеся и хорошо зарекомендовавшие себя ручные ультразвуковые дефектоскопы. Получаемые результаты могут значительно улучшить качество проверки получаемой продукции при входном контроле или технологической обработки труб. При необходимости стенд можно дополнительно укомплектовать датчиками вихретокового контроля для поиска дефектов при приемке особо важных элементов конструкций трубопровода.



Рис.1. Внешний вид автоматизированного стенда для дефектоскопии при входном контроле магистральных труб

Литература

1. ТТК. Проведение входного и сдаточного контроля трубных изделий.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ПРИМЕНЕНИЕ КПЭ В ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА

Комоликов А.С., Козырь И.Г., Кузенков С.Е.

*ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»,
город Липецк
+7-910-254-04-91, komolikov_as@niilgtu.ru*

Актуальной задачей современного машиностроения является создание и совершенствование ресурсо- энергосберегающих высокоэффективных технологий повышения эксплуатационных характеристик деталей машин и инструмента.

Традиционные технологии термической обработки практически достигли пределов своих возможностей по модификации структуры и свойств металлов и сплавов. Перспектива видится в применении технологий основанных на использовании высокоинтенсивных потоков энергии, воздействующих на локальные участки металлов, – концентрированных потоков энергии (КПЭ).

Целью работы является совершенствование термоциклической обработки (ТЦО) металлических изделий с использованием КПЭ.

Сущность ТЦО заключается в циклическом накоплении положительных изменений в структуре металлов и сплавов [1]. При кратковременном импульсном нагреве скорость диффузионных процессов экспоненциально возрастает с увеличением температуры перегрева, и следовательно, образование и гомогенизация аустенита происходит за существенно меньшее время, при этом кратковременность нагрева подавляет рост аустенитного зерна. При скоростях нагрева больше примерно 10^5 К/с кинетика α - γ перехода может проходить по бездиффузионному (мартенситному) или смешанному типу превращения [2]. При таком типе превращения возникают внутренние напряжения, которые приводят к измельчению аустенитного зерна (фазовый и температурный наклеп).

Существенное повышение дисперсности конечной структуры, и следовательно, эксплуатационных характеристик металлических изделий, можно достичь, используя нижеприведенный алгоритм ТЦО с применением КПЭ. В первом цикле производится импульсный нагрев стали до температуры существенно выше $A_{с3}$,

но ниже температуры солидус и последующее охлаждение со скоростью обеспечивающей мартенситное превращение. Далее производится отпуск, для которого применяется импульсный нагрев с использованием КПЭ, до температур ниже A_{C3} . В последующих циклах проводятся аналогичные операции с понижением максимальных температур нагрева (см. рис.1) [3].

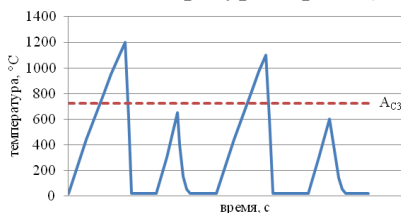


Рис.1. Схематическое изображение термоциклов

После выполнения 3-5 циклов получается особомелкозернистая структура вплоть до нанометрической.

В качестве источников энергии можно использовать: электронные пучки, лазерное излучение, токи высокой частоты (ТВЧ) и др.

Были проведены эксперименты на эвтектоидной стали по реализации ТЦО с применением ТВЧ, которые подтверждают выше сказанное. Причем, следует отметить, что время ТЦО сокращается в десятки раз, по сравнению с традиционными методами и существенно снижаются энергозатраты на проведение термической обработки.

Литература

1. В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. Ленинград: Машиностроение, 1989. — 255 с.

2. I.G. Kozyr', V.Yu. Babkin. Kinetics of austenite formation and structure formation in iron-carbon alloys under the pulsed heating. Физика и химия обработки материалов. № 6. С. 81-86. (2000).

3. А.С. Комоликов, И.Г. Козырь. Способ термоциклической обработки стали. // Патент РФ на изобретение №2594925. Бюл. №23. (2016).

ЦИФРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО ТВЭЛОВ С ПЕРСПЕКТИВНЫМИ ВИДАМИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

**Корепин Я.Д., Максимкин А.И., Белендрясова Е.Г.,
Берестов А.В., Очеретько В.Е., Жуковский Ю.О.**

*Национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ МИФИ,
г. Москва*

Во время эксплуатации механические напряжения и дефекты возникают в твэлах и топливных сборках, что может привести к нарушению их рабочих характеристик. Актуальной проблемой остается своевременное выявление и устранение таких твэлов, остаточный ресурс которых исчерпан.

В 2011 году принята концепция «нулевого отказа» или «нулевого дефекта твэлов», которая заключается в сокращении количества разгерметизирующихся в процессе эксплуатации твэлов до уровня в 10^{-6} - 10^{-5} негерметичных твэлов.

Разработка и переработка технологии замкнутого ядерного топливного цикла была принята в качестве инициативы по переводу всех атомных электростанций на использование перспективных видов твэлов таких как МОКС-топливо. Реализация любого нового вида ядерного топлива связана с множеством задач, решение которых требует значительных и дорогостоящих расходов [1, 2].

К недостаткам использования МОХ-топлива относятся более неустойчивое состояние топлива, гораздо более строгие требования к режимам охлаждения и регулирования реактора [3].

В 2017 году в виду серьезного технологического перехода принята инициатива по переходу к цифровой экономике. Это означает, что каждый твэл должен соотноситься с его уникальным цифровым двойником.

Целью работы является разработка общих подходов в прогнозировании остаточного ресурса путем сбора диагностической информации на всех этапах жизненного цикла твэлов. Также существует вероятность появления дефектных твэлов даже во время их изготовления.

В рамках работы решается задача разработки цифрового пространства для твэлов с перспективными видами ядерного топлива.

Для построения базы данных цифровых двойников или цифрового пространства твэлов необходимо проводить сбор данных контрольных параметров технического состояния на каждом этапе жизненного цикла каждого тепловыделяющего элемента. Таким образом требуется использование методик и инструментальных средств контроля, обеспечивающих оптимальное соотношение качества и минимальных общих затратах.

В данном случае упор делается на ультразвуковые методы диагностики, поскольку имеется огромный опыт в данной области, метод является неразрушающим, не требует специальной подготовки объекта контроля, нет особых требований по безопасности для персонала, контроль реализуется по принципу экспресс теста.

Разработана методика верификации данных с использованием средств моделирования процессов в твэлах и экспериментальных данных на имитаторах твэлов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Соглашение № 14.578.21.0258, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57817X0258.

Литература

1. Андрианова Е.А., Давиденко В.Д., Цибульский В.Ф. Перспективные топливные загрузки реакторов для замкнутого топливного цикла ядерной энергетики. Атомная энергия, 2015, Том 118 №5, С. 301-306.
2. Lindley B.A., Parks G.T. The performance of closed reactor grade plutonium-thorium fuel cycles in reduced-moderation pressurised water reactors (2012) Annals of Nuclear Energy, 47, С. 192-203. DOI: 10.1016/j.anucene.2012.05.004.
3. Cozzo C., Staicu D., Somers J., Fernandez A., Konings R.J.M. Thermal diffusivity and conductivity of thorium-plutonium mixed oxides (2011) Journal of Nuclear Materials, 416 (1-2), С. 135-141. DOI: 10.1016/j.jnucmat.2011.01.109.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВК-300

Костюченко К.С.

НИ Томский политехнический университет, г.Томск sek9@tpu.ru
ksk12@tpu.ru

ВК-300 – кипящий ядерный реактор с электрической мощностью 300 МВт, в данной установке реализована одноконтурная схема получения электроэнергии [1].

Важной частью проектирования ядерных реакторов является нахождение оптимальных параметров элементарной ячейки. Оптимизация проводилась изменением внешнего диаметра топливной таблетки, что представлено на рисунке 1, Далее варьировался внутренний диаметр топливной таблетки.

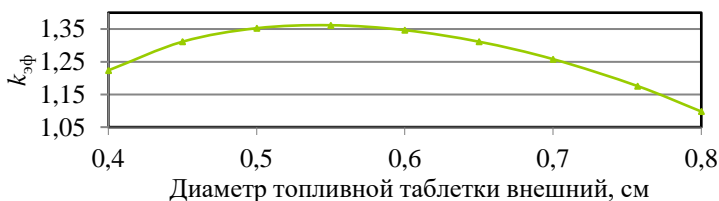


Рис.1. Зависимость $k_{эф}$ от внешнего диаметра топливной таблетки при внутреннем диаметре 0,22 см

Из полученных зависимостей можно сделать вывод, что оптимальным является отсутствие внутреннего отверстия в твэле.

Литература.

1. Кузнецов Ю.Н. Реакторная установка ВК-300 для региональной когенерационной энергетики / Ю.Н. Кузнецов, К.Э. Колесников // Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики. / под ред. акад. РАН А.А. Сарки
2. сова. – М.: Академ-Принт, 2015. Т. 2. С. 232–239.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

**РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДА ЛОКАЛЬНОГО
ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ТВЭЛАХ ВИХРЕТОКОВЫМ
МЕТОДОМ**

***Максимкин А.И., Белендрасова Е.Г., Кудрявцев Е.М.,
Аблеев А.Н., Толстов М.С., Герасимов Д.Ю.***

*Национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ МИФИ,
г. Москва*

конт. тел.: +7(916)882-46-10, e-mail: AIMaksimkin@mephi.ru

Задача создания новых и развитие существующих методов и средств инструментального контроля технического состояния элементов АЭС остается актуальной всегда ввиду развития требований по безопасности и увеличения сроков службы.

Целью работы является разработка и внедрение вихретоковых методов контроля технического состояния оболочек ТВЭлов реакторов типа БН для исследования в режиме экспресс теста как на этапе производства и так для послереакторных исследований.

Благодаря особенностям физического принципа вихретокового метода контроля имеется возможность варьировать зону контроля по глубине проникновения поля, которая определяется, как описано в статье [1], по формуле 1 далее:

$$\delta_{(f,\mu,\sigma)} = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (1)$$

В диапазоне частот от 1,2 до 8 МГц можно охватить всю толщину металла оболочки (трубка с толщиной стенки 0,4 мм; марка нержавеющей стали – ЧС-68) ТВЭла БН-600. Таким образом, вихретоковым методом можно проводить обнаружение поверхностных трещин внутренней стороны оболочки ТВЭла.

В отличие от существующих методов вихретокового контроля ТВЭлов, где ведется обнаружение дефектов на некотором протяженном участке оболочки ТВЭла, в нашем случае проводится исследование параметров дефектов в локальной области. Поэтому применяется вихретоковый преобразователь по типу «подкова», подробный описанный в статье [2]. Вид расчетной модели в среде ANSYS представлен на рисунке 1.

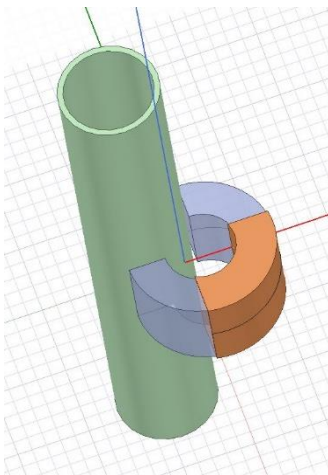


Рис.1. Вид расчетной модели вихретокового преобразователя по типу «подкова»

Проведенные предварительные испытания показывают соответствие расчетной модели реальным условиям. Ведется изготовление экспериментального стенда вихретокового контроля твэл.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Соглашение № 14.578.21.0258, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57817X0258.

Литература

1. Tian G.Y., Sophian A. Defect classification using a new feature for pulsed eddy current sensors. NDT and E International. Vol. 38, Issue 1, P. 77-82 (2005). DOI: 10.1016/j.ndteint.2004.06.001.
2. Auld B.A., Moulder J.C. Review of advances in quantitative eddy current nondestructive evaluation. Journal of Nondestructive Evaluation Vol. 18, Issue 1, P.3-36 (1999). DOI: 10.1023/A:1021898520626.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВОГО СОСТАВА В ТВЭЛАХ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

**Максимкин А.И., Аблеев А.Н., Мартыненко С.П.,
Мартыненко С.С., Родько И.И., Губина Т.В.**

*Национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ МИФИ,
г. Москва
конт. тел.: +7(916)882-46-10, e-mail: AIMaksimkin@mephi.ru*

В настоящее время на высоком уровне принята концепция «нулевого отказа» или «нулевого дефекта твэлов», которая заключается в сокращении количества разгерметизирующихся в процессе эксплуатации твэлов до уровня в 10^{-6} - 10^{-5} негерметичных твэлов, включая дефекты типа «газовой неплотности» (1).

В рамках работы решена задача по определению газового состава в твэлах для перспективных ядерных реакторов с целью определения утечки или нарушения технических характеристик. Для определения газового состава используется ультразвуковой спектроскопический метод контроля.

По целому ряду причин особое внимание уделяется ультразвуковым методам исследования твэлов, поскольку:

- является неразрушающий методом контроля;
- может быть реализован по принципу бесконтактного метода;
- не требует специальной подготовки объекта контроля;
- не вводит особых требований по безопасности.

Ультразвуковой метод позволяет реализовать процесс диагностики твэла по принципу экспресс-теста, т.е. позволяет в кратчайшие сроки установить статус технического состояния твэла, а в данном случае дать ответ о соответствии газового состава техническим требованиям.

Для апробации методики использовались:

- имитаторы твэлов с различным давлением газовой смеси;
- имитаторы твэлов с различной концентрацией He.

По итогам были получены градуировочные кривые для определения параметров газового состава твэла, представленные на рисунке 1.

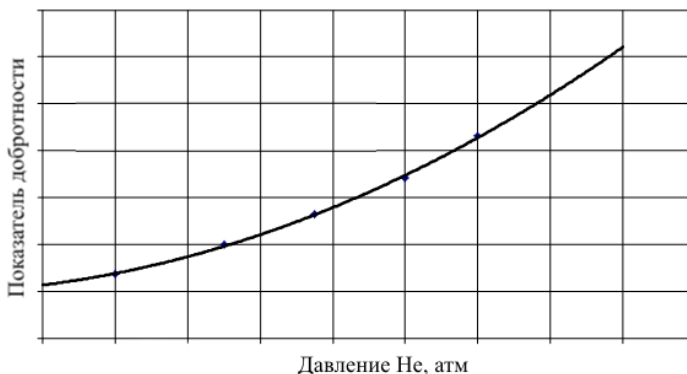


Рис.1. Зависимость добротности резонансных пиков от давления He в имитаторе твэла

По зависимости добротности резонансных пиков от давления He в имитаторе твэла, показанной на рисунке 1, удалось определить давление газовой смеси с погрешностью не более 0,05 МПа в диапазоне давлений от 0,4 до 2,5 МПа, а содержание примеси с погрешностью не более 0,3%

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Соглашение № 14.578.21.0258, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57817X0258.

Литература

1. Andrianova E.A., Davidenko V.D., Tsibul'skii V.F. Prospective Fuel Loads of Reactors in a Closed Fuel Cycle of Nuclear Power (2015) Atomic Energy, 118 (5), pp. 301-306. doi: 10.1007/s10512-015-9997-2

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

СИНХРОННОЕ ДВИЖЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ С УЧЕТОМ СИЛ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Мисюрин С.Ю.^{1,2}, Крейнин Г.В.², Нелюбин А.П.², Носова Н.Ю.^{1,2}

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН)

В технологических процессах часто встречаются операции управляемого перемещения объектов большой массы, крупных габаритов, сложной геометрии или других неудобных для практики характеристик. В ряде случаев такие операции приходится выполнять двумя или более взаимодействующими друг с другом робототехническими устройствами [1-3].

При перемещении особо тяжелых и громоздких объектов предпочтение отдается гидравлическим двигателям, которые отличаются высокой удельной мощностью и, как правило, не требуют включения в конструкцию дополнительных механизмов усиления. Для решения подобных задач предлагается использовать разработанные авторами подходы, основанные на интерактивной процедуре синтеза динамических систем, рационализации их математических моделей, включающих в себя силы различной природы, в том числе и силы трения. Сложность данной модели заключается в большом количестве параметров вводимых в модель. Все эти параметры имеют разную размерность, что значительно усложняет анализ и синтез механизмов производимых на математической модели. Данную проблему можно значительно упростить, переходя к безразмерным параметрам с использованием теории подобия и аналогичности [4]. Однако процесс перехода к безразмерным параметрам имеет ряд особенностей связанных с выбором зависимых и независимых переменных.

В работе на конкретном примере синтеза приводной динамической системы показывается эффективность комбинированного использования средств теории подобия и аналогичности, которая проявляется в предельном упрощении

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering
безразмерной модели, ее универсальности и в удобстве решения
задач синтеза.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-29-10072 мк «Оптимизация нелинейных динамических моделей роботизированных приводных комплексов с учетом сил сопротивления различной природы, включая силы трения».

Список литературы

1. Misyurin S.Y., Kreinin G.V. Power optimization criteria of a mechanical unit of an automated actuator // *Doklady Physics*. 2015. Volume 60. Issue 1. P. 15-18.
2. Misyurin S.Y., Kreinin G.V. Dynamics and design of a power unit with a hydraulic piston actuator // *Doklady Physics*. 2016. Volume 61. Issue 7. P. 354-359.
3. Nelyubin A.P, Galkin T.P, Galaev A.A, Popov D.D, Misyurin S.Yu, Pilyugin V.V. Usage of Visualization in the Solution of Multicriteria Choice Problems // *Scientific Visualization*. 2017. Volume 9. Issue 5. P. 59-70.
4. Мамонтов М.А. Аналогичность. МО СССР. 1971. С. 59.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ
МОДУЛЯ ЮНГА И ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ
ОБОЛОЧКИ ТВЭЛА РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ**

***Мошев А.А., Родько И.И., Мартыненко С.П.,
Мартыненко С.С., Аблеев А.Н., Токарев А.Н.***

*НИЯУ МИФИ, г. Москва
конт. тел. +7(985)852-09-18, e-mail: AAMoshev@mephi.ru*

Изучаются упругие характеристики и внутреннее трение топливных оболочек, чтобы улучшить компьютерные коды для твэлов ВВЭР-1000. Аналитически описываются упругие характеристики материала оболочки и вычисляется численный коэффициент вида первой продольной частоты. Описывается новый измерительный модуль для автоматического сбора данных. Определены температурные зависимости модуля Юнга и внутреннего трения с помощью высокотемпературной установки и отмечен максимум этих характеристик при температуре 1160 К.

С помощью разработанной установки проведены измерения модулей Юнга, сдвига и внутреннего трения серии отрезков твэлов из циркониевых сплавов [1]. На рисунке 1 полученные результаты для штатной оболочки ВВЭР представлены в виде графика температурных зависимостей. Из графика видно, что при первом нагреве образцов (нижняя кривая) при температуре 1160 К наблюдается характерное изменение модуля Юнга и внутреннего трения (так называемый пик внутреннего трения), указывающие на фазовый переход в образцах от α -Zr с гексагональной решеткой ($a = 0,3231$ нм, $c = 0,5146$ нм) до β -Zr с кубической решеткой ($a = 0,361$ нм). При последующем охлаждении образцов от высоких температур модуль Юнга увеличивается в температурном диапазоне 300-1100 К на 10-20 %, что можно объяснить разрушением существующей в оболочке текстуры после прохождения фазовых превращений.

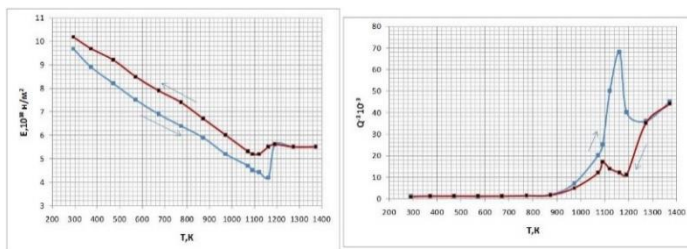


Рис. 1. Температурные зависимости: а) модуля Юнга штатной оболочки твэла ВВЭР при нагреве (синяя кривая) и охлаждения (красная кривая); б) внутреннего трения штатной оболочки твэла ВВЭР при нагреве (синяя кривая) и охлаждения (красная кривая)

На рисунке 2 представлен внешний вид экспериментальной установки для измерения упругих характеристик и внутреннего трения образцов.

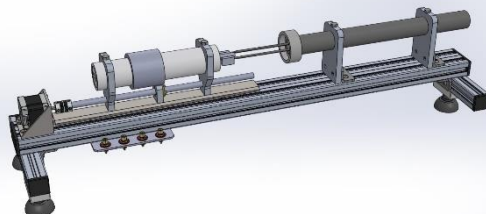


Рис. 2. Внешний вид экспериментального образца установки (3D-модель)

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Соглашение № 14.578.21.0258, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57817X0258.

Литература

1. Баранов В.М. и др. Диагностика материалов и конструкций топливно-энергетического комплекса. – М.: Энергоатомиздат, 1999 – 350 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ И СТЕПЕНИ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ПО ИНФОРМАТИВНЫМ ДИАПАЗОНАМ РАСХОЖДЕНИЙ ИХ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ

***Мошев А.А., Родько И.И., Кудрявцев Е.М., Жуковский Ю.О.,
Кормашова Д.И., Кислицын А.О.***

НИЯУ МИФИ, г. Москва

конт. тел. +7(985)852-09-18, e-mail: AAMoshev@mephi.ru

Используется новый подход к определению информативных частот для идентификации коррозионных повреждений. Определяются расхождения резонансных частот колебаний оболочек твэлов заводской геометрии и с различными видами коррозионных повреждений, полученных путем моделирования дефектов в оболочках отрезков твэлов. Выявлены информативные диапазоны порядковых номеров, позволяющие определить следующие коррозионные повреждения: утонение с внешней и внутренней стороны оболочки твэла, питтинговая коррозия, фреттинг-коррозия.

Акустические резонансные методы как правило работают на частотах от 1 кГц до 1 МГц. Расчеты проводились для отрезков твэлов длиной 30 мм, внешним диаметром - 6,9 мм и толщиной стенки 0,4 мм [1,2]. Для оболочки твэла реактора БН-600 длиной 30 мм имеется порядка 900 резонансных частот в диапазоне от 1 кГц до 1 МГц. Материал твэла - ЧС-68 (06X16H15M2Г2ТФР) [3]. Расчетные частоты определялись для твэлов со следующими коррозионными повреждениями: равномерное утонение внутреннего диаметра на 1 и 5 мкм, равномерное утонение с внешней стороны на 1 и 5 мкм, равномерное утонение с внутренней и с внешней стороны на 1 и 5 мкм, твэл с 15 и 300 очагами питтинговой коррозии с диаметром 50 мкм и глубиной 30 мкм, твэл с фреттинг - коррозией, представляющей собой спиральную канавку глубиной 10 мкм и шагом 100 мм [2]. Проанализированы разности собственных частот оболочек твэлов с заводской геометрией и корродированными твэлами. Установлены три диапазона

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

информативных порядковых номеров, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Виды коррозионных повреждений и соответствующие им области расхождений резонансных частот колебаний оболочек твэлов

Вид кор. повреждения	Область расхождения для диапазонов порядковых номеров			
	629-632	633-652	670-673	708-713
Внутр. утонение	Положит.		Неинформ.	Положит.
Внешнее утонение	Положит.		Неинформ.	Отриц.
Утонение с обеих ст	Положит.		Обе области	Обе обл.
Мин. питтинг. кор.	Отриц.		Положит.	Неинформ.
Макс. питтинг. кор.	Отриц.		Отриц.	Неинформ.
Фреттинг-кор.	Положит.	Отриц.	Положит.	Положит.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Соглашение № 14.578.21.0258, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57817X0258.

Литература

1. Решетников, Ф.Г. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. В 2 кн. Кн. 1. /Ф.Г. Решетников, Ю.К. Бибилашвили, И.С. Головнин и др. /Под ред. Ф.Г. Решетникова - М.: Энергоатомиздат, 1995. - 316 с.
2. Синев, Н.М. Экономика ядерной энергетики: основы технологии и экономики производства ядерного топлива. Экономика АЭС: Учеб. Пособие для вузов. – 3-е изд. / Под ред. В.А. Кузьмичева – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.
3. Кинев Е.А., Пастухов В.И., Глушкова Н.В. Жидкометаллическая коррозия оболочечных сталей в натриевом теплоносителе. – Вопросы атомной науки и техн-ки, Сер. Ядерно-реакторные константы, 2017, вып. 3, стр. 80 – 88.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ПАССИВНЫЙ ЭКЗОСКЕЛЕТ ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ

***Мошев А.А., Качина А.А., Муллин В.М., Панчихин М.О.,
Хажкасимов Э.Н., Бирюков А.П.***

*Национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ МИФИ, г.
Москва*

конт. тел. +7(985)852-09-18, e-mail: AAMoshev@mephi.ru

В настоящее время все большее распространение получают робототехнические устройства, помогающие человеку, который находится в тяжелых, опасных для его здоровья условиях. С развитием электронной и электротехнической промышленности набирает популярность исследование и разработка еще одного вида устройств, поддерживающих и/или усиливающих физические возможности человека – экзоскелета [1]. Особый интерес представляет разработка пассивных (не требующих источника энергии) экзоскелетов, облегчающих работу по подъему и транспортировке грузов.

Разработанный концепт экзоскелета представляет собой нательную конструкцию, включающую в себя по две пары тазобедренных и голеностопных рычажных соединений, 3D-модель конструкции представлена на рисунке 1. Наспинная часть представляет собой накрест лежащие пластины, к которым посредством подвижного соединения крепится его поясничная часть. Спинная пластина соединяется с тазовой частью посредством карданного вала. Крепление тазобедренных рычагов с каркасом выполняется кольцевыми шарнирными соединениями, подвижными в двух направлениях, с тазобедренными рычагами. Их основания угловыми соединениями связаны с площадками скольжения, установленными на тазобедренных рычагах.

Вес груза распределяется по пластинам плечевого отдела, через него на спинной узел и далее в область поясничного отдела. В зависимости от степени наклона, нагрузка распределяется пропорционально на нижние площадки.

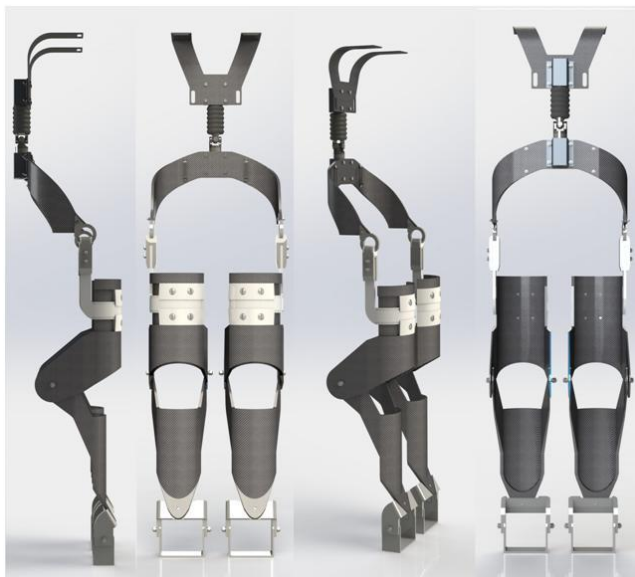


Рис.1. 3D-модель пассивного экзоскелета для облегчения транспортировки грузов

Размер данного экзоскелета можно регулировать под рост взрослого человека посредством замены трубок необходимого размера в карданном вале.

Литература

1. Т.И. Шакиров. Перспективы развития конструктивных схем экзоскелетов. Электротехнические комплексы и системы (Уфа: ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», 2015).

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

**РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ВРЕЗКИ
ПАТРУБКА ТРУБОПРОВОДА РАСХОЛАЖИВАНИЯ В
ГЛАВНЫЙ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ ТРУБОПРОВОД
РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВВЭР-1000**

Овсенёв А.Е.

*Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
+7-913-871-42-86, ovsenev1993@mail.ru*

Более половины эксплуатирующихся в Российской Федерации реакторных установок – это реакторные установки ВВЭР-1000. Проектный срок эксплуатации данных установок составляет 30 лет. И большинство из них уже отработало данное время. Для продления сроков эксплуатации необходимо проводить расчеты на обоснования продления сроков эксплуатации.

Целью данной работы является расчет на статическую прочность врезки патрубка трубопровода расхолаживания в главный циркуляционный трубопровод для обоснования в дальнейшей эксплуатации.

Расчет напряжений в месте, где расположена врезка патрубка трубопровода выполнялся с использованием программного комплекса ANSYS [1]. В процессе расчета была разработана конечно-элементарная модель. В расчетной конструкции рассматриваемого узла учтены особенности геометрических параметров.

При расчете проверяется выполнение условий прочности применительно к рассматриваемым узлам. Напряжения, не должны превышать соответствующих допустимых значений.

В результате проведенного расчета врезки патрубка трубопровода расхолаживания определилось, что напряжения не превышают допустимые значения. Дальнейшая эксплуатация патрубка трубопровода расхолаживания считается возможной.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

**ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ МАТРИЦ ДЯТ
МЕТОДОМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА**

Пермикин А.А., Костюченко К.С.

*НИ Томский политехнический университет, г.Томск
sek9@tpu.ru
ksk12@tpu.ru*

Дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) сегодня является одним из наиболее перспективных видов топливных композиций для реакторных установок нового поколения. ДЯТ представляет из себя неактивную матрицу с диспергированными в неё топливными частицами. Высокую эффективность, благодаря своим теплофизическими характеристиками, имеют матрицы основанные на интерметаллидах.

Для получения таких соединений предпочтительно использовать метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [1]. На рисунке 1 представлен процесс СВ-синтеза интерметаллидных систем.



Рис.1. Рисунок 6 – СВ-синтез в интерметаллидных системах

Литература.

3. Мержанов А. Г., Боровинская И. П. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений // Докл. АН СССР. – 1972. – Т. 204. – №. 2. – С. 366 – 369.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ЯЭУ АКУСТИЧЕСКИМ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

***Родько И.И., Кудрявцев Е.М., Аблеев А.Н., Бирюков А.П.,
Мошев А.А., Юдин И.А., Герасимов Д.Ю.***

*НИЯУ МИФИ, Москва
+7 (919) 771 08 96, IIRodko@mephi.ru*

В рамках стратегической программы исследований ГК «Росатом», осуществляемой Технологической платформой «Замкнутый ядерно-топливный цикл с реакторами на быстрых нейтронах» выполняются работы по оснащению защитных камер оригинальным оборудованием, в том числе, ультразвуковыми дефектоскопами для первичных послереакторных неразрушающих исследований свойств критически важных материалов реакторов на быстрых нейтронах. В настоящей работе была разработана методика определения коррозионных повреждений оболочек твэлов акустическим резонансным методом. Метод основан на регистрации частот и добротностей окружных резонансов оболочек. При выполнении работы были получены экспериментальные графики зависимости резонансной частоты (рисунок 1) и добротности (рисунок 2) информативного резонанса для неповреждённых оболочек твэла от величины шероховатости их поверхности R_{max} , которые позволяют оценивать как усреднённое утонение оболочки, так и глубину питтинговой коррозии. Коррозионные повреждения оболочки приводят к смещению локализованных резонансов в низкочастотную область, что связано с утонением средней толщины оболочки [1]. При этом добротности низкочастотных резонансов изменяются незначительно, в то же время добротность высокочастотного информативного резонанса падает намного больше. Указанное обстоятельство можно объяснить рассеянием высокочастотных волн на неоднородностях оболочки, вызванных питтинговой коррозией. Этот эффект служит диагностическим признаком при оценке степени коррозионного повреждения по толщине и глубине питтингов оболочки твэла.

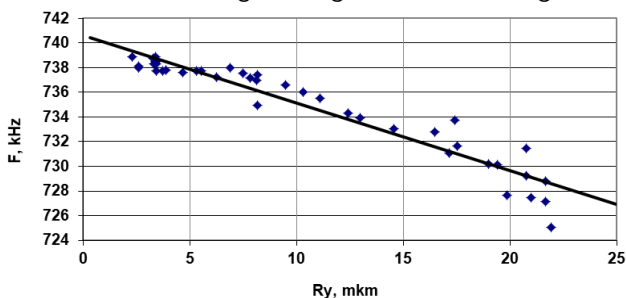


Рис.1. Зависимость частоты информативного резонанса от Rmax поверхности оболочки

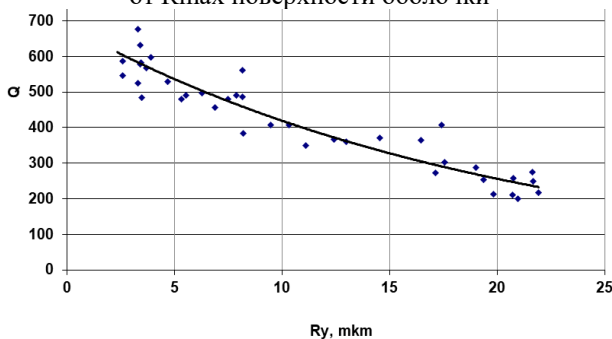


Рис.1. Зависимость добротности информативного резонанса от Rmax поверхности оболочки

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности резонансного метода как для контроля оболочек твэлов при их производстве, так и для оценки их поврежденности при эксплуатации. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Соглашение № 14.578.21.0258, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57817X0258.

Литература

1. Баранов В.М., Карасевич А.М., Сарычев Г.А. Диагностика материалов и конструкций. – М.: Высшая школа, 2007. – 379 с.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS CFX

Руденко М.О., Шелегов А.С.

*Россия, г. Обнинск, ИАТЭ НИЯУ МИФИ
89109174741, marina2010rud@mail.ru*

Одним из распространенных видов ядерных энергетических установок в мировой атомной энергетике является реактор с водой под давлением. В России к установкам данного типа относится РУ с ВВЭР. Реакторная установка энергоблока типового проекта оснащена серийным модернизированным ядерным реактором типа ВВЭР-1000, который является главной составной частью энергоблока АЭС, где происходит цепная реакция и вырабатывается энергия. Реактор водо-водяной, гетерогенный, корпусного типа, работающий на тепловых нейтронах с водяным теплоносителем и водяным замедлителем (вода под давлением) [1].

Гидродинамические процессы в ядерном реакторе оказывают очень большое влияние на безопасность и экономическую эффективность атомной электростанции. Из этого следует, что процессам теплообмена необходимо уделять особое внимание. Данные процессы исследуются как экспериментально, так и с помощью численных методов.

В настоящее время расчетные CFD коды в связке с 3D-моделированием получили широкое распространение при анализе процессов теплообмена и гидродинамики, о чем говорит возросшая популярность данной технологии в проектировании и моделировании объектов атомной отрасли.

Для расчетного исследования процессов гидродинамики в проточном тракте реактора ВВЭР-1000 разработана представленная в настоящей работе расчетная 3D-модель реактора (рис. 1). Данная модель включает в себя проточную часть реактора, учитывающая все геометрические особенности проточного тракта, за исключением активной зоны и БЗТ смоделированное в приближении пористого тела. В данной работе описан процесс создания расчетной модели, представлены результаты расчетов.

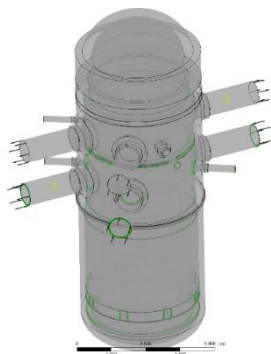


Рис.1. Разработанная трехмерная модель реактора ВВЭР-1000

Для подтверждения корректности моделирования было выполнено сравнение с проектными и экспериментальными данными. Полученные расчетные значения основных гидравлических характеристик (распределение давления, скорости) находятся в хорошем соответствии с проектными значениями, что говорит о безусловной актуальности данной работы.

Расчетная модель позволяет проводить моделирование различных переходных режимов как нормальной эксплуатации, так и с нарушениями нормальной эксплуатации, включая аварийные. К переходным режимам нормальной эксплуатации можно отнести, например, разогрев и расхолаживание РУ. Модель позволяет моделировать процессы в реакторе, связанные с отключением петель РУ, работой системы СППР, работой органов СУЗ и т.д. Возможности расчетной модели также позволяют моделировать работу систем безопасности САПР, СВБ и др.

Литература

1. С.А. Андрушечко, А.М. Афров, Б.Ю. Васильев, В.Н. Генералов, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семенчиков, В.Ф. Украинцев. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта (М.: Логос, 2010).

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ФОРМИРОВАНИЕ ЯДРА СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Смирнов С.В.¹, Рзаев Р.А.¹, Чуларис А.А.²

¹ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г.
Астрахань.

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г.
Ростов- на- Дону.

Тел.: 89648865824, e-mail: ilw1999@mail.ru

Начиная с авторского свидетельства СССР 1965г. [1], и с опубликованием в 1991г. патента [2] Великобритании, появилась альтернатива сварке плавлением - твердофазный способ сварки трением с перемешиванием (СТП). Однако механизмы образования сварных соединений в однородном и, тем более, в разнородном сочетаниях металлов, не изучены.

При СТП возможным источником распространения пластической деформации являются подвижные дислокации, в качестве которых могу выступать большеугловые границы зерен- их тройные стыки [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Запуск последних осуществляется вводимым в свариваемый металл инструментом, с помощью которого в пластическую деформацию вовлекаются соседние в слое и по глубине упруго деформируемые зерна, обеспечивая расширение зоны пластической деформации уже на глубинные слои металла, располагающиеся на структурно-мезоскопическом масштабном уровне [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**,**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Благодаря заглублению вращающегося и перемещающегося вдоль кромок пина инструмента происходит формирование по толщине свариваемых пластин нескольких мезозон локализации пластической деформации и расширение мезозон на все поперечное сечение или толщину свариваемых деталей (рис.1).

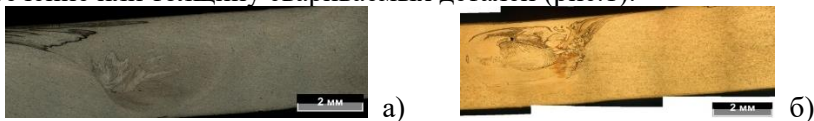


Рис. 1. Поперечные макрошлифы сварных соединений:
а-алюминиевого АД1; б-медного М1 сплавов.

В соответствии с концепцией [6] физической мезомеханики,

согласно которой в твердом деформируемом теле образуется вихревое механическое поле, носителями деформации являются объемные мезоэффекты, движущиеся по схеме «сдвиг–поворот» крупных зерен за счет вовлечения в поворот более мелких с образованием вихрей и потоков металла в СПС (рис.2).

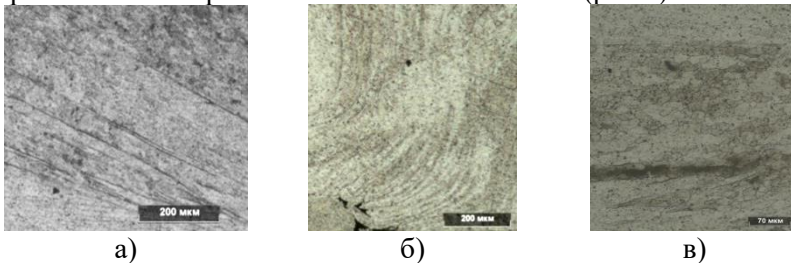


Рис. 2. Поперечный микрошлиф шва алюминиевого сплава АД 1 при СТП: а- ламинарный поток со стороны заплечика; б-турбулентный поток со стороны нижней части пина, с ламелями разделенными на микрозерна; в – центральная часть ЯСШ.

Металлографические исследования образцов свидетельствуют о существенных изменениях в структуре: волокнистая (структура прокатки) свариваемых металлов и сплавов и сдвигополосчатая – «в виде луковичного узора» в ядре, (рис.1,2), при температурах образования сварных соединений в диапазоне 600 - 800°С. На стадии завершения формирования структуры ЯСШ получает развитие динамическая рекристаллизация по механизму дробления вытянутых зерен «луковичного узора» в ламелях полос сдвига с образованием субзерен в процессе деформирования вблизи температур перехода в СПС, следствием процесса является эффект достижения сверхпластичности.

Литература

1. Ю.В. Клименко. Авторское свидетельство СССР № 195846. (1965)
2. W.M. Thomas, E.D. Nicholas, J.C. Needham. Friction stir welding. International Patent Application № PCTPGV 92H02203 and Great Britain Patent Application No 9125978. (1991)
3. В.Е. Панин, В.А. Лихачев, Ю.В. Гриняев. Структурные уровни деформации твердых тел. Новосибирск: Наука, 229 с. (1985)
О.А. Кайбышев. Пластичность и сверхпластичность металлов. М.: Металлургия, 280 с. (1975)

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

СПЕКТРОМЕТРИЯ 14 МэВ НЕЙТРОНОВ ДЕТЕКТОРАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО (CVD) АЛМАЗА

Урупа И.В., Тюрин Е.М., Ибрагимов Р.Ф.

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,
Москва
конт. тел. +7-968-075-86-54, e-mail: IVUrupa@mail.ru*

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям по применению алмазных детекторов для проведения спектрометрии быстрых нейтронов (14 МэВ), возникающих при протекании реакции d-t в газонаполненной нейтронной трубке. Результаты представлены для алмазного детектора, значение энергетического разрешения которого не превышает 1% по энергии альфа частиц 7,6 МэВ. Для оценки разрешения детектора использовался источник альфа-частиц Ra-226.

В результате работы получен суммарный спектр отклика алмазного детектора на 14 МэВ нейтроны (рис.1) при ускоряющем напряжении 100 кВ ($\phi \pm \Delta\phi = (1.50 \pm 0.01) \cdot 10^8$ н/с)

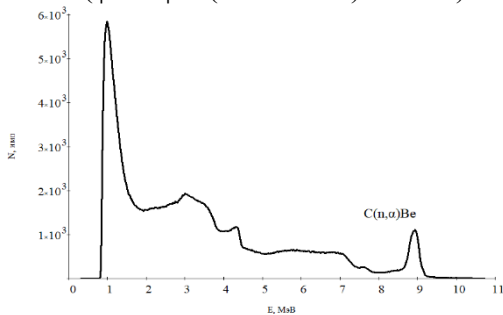


Рис.1. Спектр отклика алмазного детектора на 14 МэВ нейтроны

С помощью метода наименьших квадратов проведено восстановление энергетического спектра d-t нейтронов, зарегистрированных алмазным детектором, и проведено вычисление соотношения вкладов в итоговый спектр от нейтронов, образовавшихся в различных условиях (из атомарных (D⁺) или молекулярных (D₂⁺) ионов дейтерия, атомарных (T⁺) или молекулярных (T₂⁺) ионов трития, или молекулярных ионов DT⁺

падающих на мишень, содержащую атомы D и T). В качестве характерного пика, в котором производится расчет, используется пик реакции $^{12}\text{C}(n, \alpha)^9\text{Be}$. Проведено сравнение с результатами аналогичных экспериментов [2,3].

Также ходе экспериментов изучалось влияние эффекта поляризации на работу алмазного детектора. Установлено, что эффект поляризации не оказывает негативного влияния на показания детектора в поле быстрых нейтронов с энергией около 14 МэВ при непрерывной работе детектора под облучением в течение нескольких часов на исследуемых потоках. Попутно исследован вклад рентгеновского и гамма-излучения на работу алмазного детектора и используемой электроники (зарядочувствительного усилителя), так как поле излучения рентгеновского генератора является смешанным, и рентгеновское излучение вносит вклад в суммарный спектр, даже несмотря на относительно низкое сечение взаимодействия гамма-излучения с углеродом (порядка 10^{-6} барн).

Результаты данной работы будут положены в основу дальнейших исследований, связанных со степенью применимости алмазных детекторов для контроля выхода быстрых нейтронов от генераторов на основе ГНТ производства ФГУП ВНИИА.

Литература

1. А.И. Берлев, Н.Б. Родионов, С.И. Тютюнников, В.Н. Амосов, С.А. Мещанинов, И.П. Юдин. Измерения нейтронного потока алмазным детекторов в экспериментах на установке «Квинта» // Письма в ЭЧАЯ, 2016 – №3(201) – С.558-566.
2. Pillon M., Angelone M., Krasa A., Plompen A.J.M., Schillebeeckx P., Sergi M.L. Experimental response functions of a single-crystal diamond detector for 5–20.5 MeV neutrons // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 640(2011) –С.185–191.
3. L. Giacomelli. Detecting 14 MeV neutrons in nuclear fusion experiment and development of CVD diamond as neutron spectrometers// Rev. Sci. Instrum. 87 11D822 (2016)

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Фретова К.С., Козик Е.С.

*Оренбургский государственный университет, г.Оренбург
89228015905,kfretova@mail.ru*

Развитие машиностроения, горнодобывающей и деревообрабатывающей промышленности в нашей стране связано с применением однокристаллических твердых сплавов, которые широко используют в качестве инструментальных материалов [1].

Упрочнение твердых сплавов, является актуальным и экономически обоснованным вопросом, решение которого обеспечит снижение потерь от износа и увеличит ресурс работы инструмента.

Термическая обработка может значительно повысить прочность твердого сплава и обеспечить низкую себестоимость. Из методов термического воздействия при упрочнении твердосплавного инструмента в последнее время наиболее интенсивно развивается поверхностная модификация с использованием высококонцентрированных источников нагрева – лазерным и электронным излучениями, плазменной струей и другие [2].

В исследованиях был рассмотрен метод непрерывной лазерной обработки.

Материалом для исследования выбраны пятигранные пластины из твердого сплава марки ВК8, внешний вид которых представлен на рисунке 1.

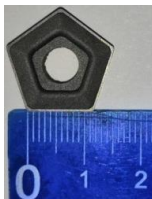


Рис.1. Внешний вид пятигранной твердосплавной пластина марки ВК8

В ходе теоретического исследования было выявлено, что важной особенностью лазерной закалки является высокая локальность воздействия. В процессе лазерной термообработки лазерный луч перемещается по поверхности металла определенным образом.

Обработанные участки представляют собой тонкую полоску, проходящую по канавке пластины (ширина которых определяется диаметром пучка D) (рисунок 2) [3].

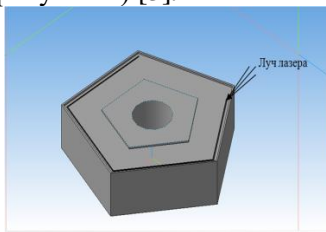


Рис. 2. Схема лазерной заковки поверхности

Экспериментальные исследования по упрочнению твердых сплавов были проведены на лазерной установке ЛК 3015 лс 07. Режимы лазерной обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Режимы лазерной обработки пятигранных твердосплавных пластин группы ВК

Образец	Мощность излучения, Вт/мм ²	D пучка фокусирования, мм	Скорость обработки, мм/мин
1	100	2	10
2	100	2	20
3	100	2	30
4	100	2	40
5	200	2	10
6	200	2	20
7	200	2	30
8	200	2	40

Микроструктуру твердого сплава марки ВК8, исследовали на металлографическом микроскопе ALTAMУ MET3.

Исследование проводили на микрошлифе. Для приготовления микрошлифа, использовали шлифовальную водостойкую бумагу из карбида кремния, с зернистостью КЗ-180, КЗ-150, КЗ-120 КЗ-40, алмазный порошок АСМЗ-5. Травление поверхности образца проводили в реактиве, содержащем красную 50% - ную кровяную соль, гидроксид калия и дистиллированную воду в соотношении, %: 30:15:55[4,5].

Микроанализ образцов показал, что в результате лазерного воздействия успевают произойти диффузионные процессы, структура становится более равномерной. Наблюдается незначительное уменьшение карбида вольфрама (светлая фаза) и

небольшое увеличение твердого раствора WC в кобальте, вблизи полосы закаливания, по сравнению с исходным образцом.

После лазерной закалки выявлено уменьшение частиц (зерен) WC и равномерность их распределения, что благоприятно влияет на режущие свойства и прочность твердосплавной пластины. Износостойкость твердого сплава BK8 увеличивается.

Литература

1 Осколкова, Т. Н. Развитие теоретических и технологических основ повышения износостойкости карбидовольфрамовых твердых сплавов с использованием поверхностного упрочнения концентрированными потоками энергии и объемной термической обработки.: автореф. дис. докт. техн. наук/Т. Н. Осколкова. – Новокузнецк, 2018. – 38 с.

2 Кудинова, Е.В. Синтез ультрадисперсных модифицированных слоев на твердых сплавах плазменной обработкой.:дис. канд. техн. наук: 05.03.07 :защищена 2016:утв. 2016/Е.В. Кудинова. – Мариуполь, 2016. – 153 с.

3 Богодухов, С. И. Термическое упрочнение твердого сплава T15K6 /С. И. Богодухов, Е. С. Козик, Е. В. Свиденко // Заводская лаборатория, диагностика материалов. – 2017. – №12. – С. 38-42.

4 Ярьсько С.И. Физические и технологические основы упрочнения твердых сплавов: Монография / С.И. Ярьсько. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2006. – 244 с.

5 Богодухов С. И. Порошковые материалы со специальными свойствами: учеб. пособие:/ С. И. Богодухов, Е. С. Козик, Е. В. Свиденко ; Оренбург. гос. ун-т. - Электрон. дан. - Оренбург : ОГУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)

Литература

1. Программный комплекс для ПЭВМ. Программный комплекс для решения термомеханических задач методом конечных элементов, ANSYS Mechanical, v.14.5, ANSYS, Inc., 2013.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПОВОРОТНОЙ ПРЕЦИЗИОННЫЙ СТОЛИК С РУЧНЫМ ТИПОМ УПРАВЛЕНИЯ

**Хафизов А.В., Бирюков А.П., Юдин И.А., Токарев А.Н.,
Конашенкова Н.А., Очеретько В.Е.**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

8-969-087-45-23, ankhafizov1998@yandex.ru

3D-сканеры используются во многих областях промышленности, науки, медицины и искусства. В частности, они успешно решают задачи реверс-инжиниринга, контроля формы объектов, сохранения культурного наследия, используются в музейном деле, в медицине и дизайне. Трехмерные сканеры позволяют упростить и улучшить ручной труд, а порой даже выполнить задачи, которые казались невозможными. Данные устройства полезны в промышленности для бесконтактного контроля поверхностей сложной геометрической формы, а также для проектирования систем.

Поскольку часто с одной точки не все участки поверхностей объекта наблюдаемы, как правило, сканирование разных участков поверхностей объекта проводится с переустановкой объекта или сканера на разные позиции несколько раз для полного покрытия поверхностей сканируемых объектов. Тогда для создания единой 3D-модели необходимо произвести объединение («сшивку») фрагментов [1]. В результате при работе с изделиями малых и средних габаритов, имеющих большое количество малогабаритных конструктивных элементов, качество 3D-сканирования определяется точностью позиционирования объекта.

Для решения вышеуказанной задачи была разработан прецизионный поворотный столик, который обладает достаточной грузоподъемностью (до 3 кг), позволяет производить поворот с точностью равной $0,1^\circ$, а также является достаточно эргономичным и имеет характеристики, приемлемые для ручной переноски установки одним оператором (размеры не более 100x300x300 мм).

После изучения аналогов ППС было решено не отходить от представленных другими разработчиками конструкторских решений и не менять геометрию столика, оставив его форму

круглой, сохранив отверстие для просвечивания в центре диска. В разрабатываемом механизме используется трансмиссионная передача непрерывного вращения, что является целесообразным из-за требований к точности поворота ППС и возможности изготовления регулировочной шкалы большого диаметра (до 200 мм).

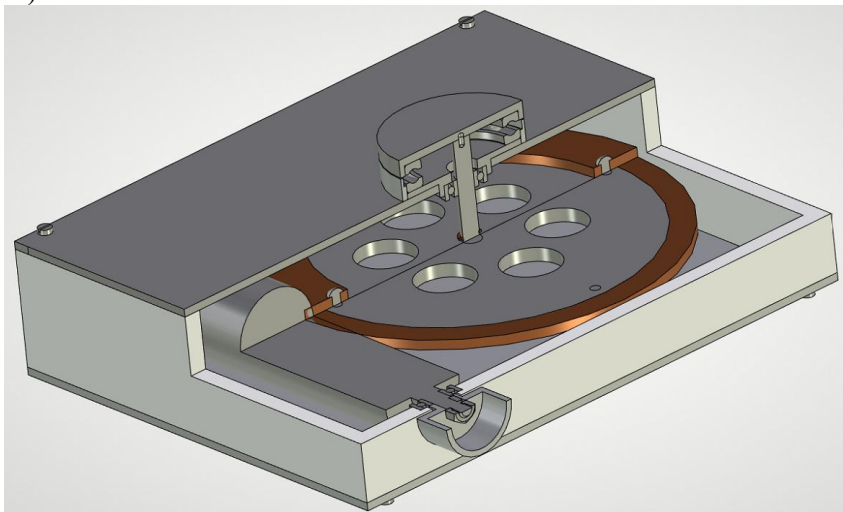


Рис.1. Модель малогабаритного поворотного прецизионного столика с ручным типом управления (в разрезе)

Литература

1. И.Б. Челпанов, И.Б. Прямыцын, А.В. Кочетков. Метрологическое обеспечение лазерных измерительных 3D-сканеров. Законодательная и прикладная метрология, №6 (145), стр. 26-31 (2016).

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ В ПЛАСТАХ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА

Хисамов А.А.¹, Хабибуллин И.Л.¹

¹ *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 данной работе представлены новые аналитические решения задачи о нестационарном распределении давления вокруг скважины, пересеченной вертикальной трещиной при краевых условиях первого и второго рода. Решения задач построены методом преобразований Лапласа.

В пласте, насыщенном малосжимаемой 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 (раскрытие) трещины намного меньше чем ее длина. Предполагается, что вначале давление в пласте и трещине одинаково и при $t=0$ скважина запускается в эксплуатацию. С учетом симметрии геометрии задачи относительно скважины и трещины, схема области фильтрации представлена на рис. 1.

Распределение давления в трещине для первой и второй краевых задач, имеет вид:

$$\bar{P}_f(\bar{x}, \bar{t}) = \frac{\bar{x}}{\sqrt{\pi a \bar{t}}} \int_0^1 e^{-\frac{\bar{x}^2}{4a\bar{t}\rho^2}} \operatorname{erfc} \frac{\rho^2 b \sqrt{\bar{t}}}{2\sqrt{1-\rho^2}} \frac{d\rho}{\rho^2}. \quad (1)$$

$$\bar{P}_f(\bar{x}, \bar{t}) = -\frac{2b\sqrt{\bar{t}}}{\sqrt{a}\sqrt{\pi}} \int_0^1 e^{-\frac{\bar{x}^2}{4a\bar{t}z^2}} \operatorname{erfc} \frac{z^2 b \bar{t}}{2\sqrt{\bar{t}}(1-z^2)} dz. \quad (2)$$

Здесь $a = \frac{\kappa_f}{\kappa_r}$, $b = a \frac{k_r x_f}{k_f w_f}$, $\bar{P}_r = \frac{P_r - P_0}{P_c - P_0}$, $\bar{P}_f = \frac{P_f - P_0}{P_c - P_0}$, $\bar{x} = \frac{x}{x_f}$, $\bar{y} = \frac{y}{x_f}$, $\bar{t} = t \frac{\kappa_r}{x_f^2}$. κ_f, κ_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.

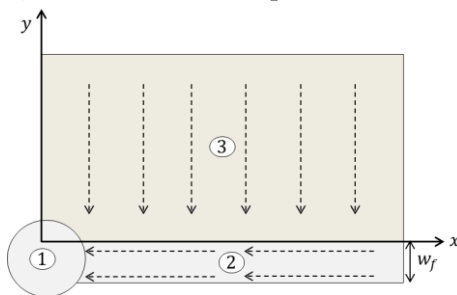


Рис. 1. Схема области течения. 1 – скважина, 2 – трещина, 3 – пласт.

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. Н. Cinco-Ley, V.F. Samaniego Transient Pressure Analysis for fractured wells // J. Petrol. Technol. – 1981. –V.33, N9. – P. 1749-1766.
3. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. К теории билинейного режима фильтрации в пластах с трещинами гидроразрыва // Вестник Башкирского университета. 2018. Т. 23. №4. С. 958-963.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
СЕРИЙНО ПРОИЗВОДИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ**

**Юдин И.А., Барышев Г.К., Берестов А.В., Божко Ю.В.,
Жуковский Ю.О., Черных П.О.**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва
8-915-111-40-63, iajudin@mephi.ru*

Термоэлементы Пельтье эффективно используются во многих областях науки и техники для охлаждения различных микроэлектронных приборов и устройств. Они выгодно отличаются от других охлаждающих приборов, так как эти устройства малогабаритны и в них непосредственно электрическая энергия превращается в тепловую без промежуточного механического этапа [1]. Как следствие, на сегодняшний момент является актуальной разработка наукоёмкой и инновационной системы измерения и контроля элементов Пельтье.

Продукт реализации комплексного проекта будет необходим в эксплуатации как на предприятиях – производителях элементов Пельтье, так и для производств, активно использующих элементы Пельтье в выпускаемой продукции, в особенности, если эта продукция должна отвечать высоким стандартам качества и должна сохранять свои характеристики на долгом отрезке времени.

Основной идеей работы является создание стенда диагностики и автоматизированного контроля качества производимых серийно элементов Пельтье. Стенд состоит: из механических узлов и агрегатов для размещения, крепления и электрического подключения к измерительной аппаратуре производимых элементов; электронных блоков управления, генерации сигналов и измерения физических параметров элементов; специализированного программного обеспечения для вычисления на основе полученных данных рабочих параметров элементов, ведения базы данных классификации выпускаемых элементов и их разбраковки, оценки достижения для уникальных, выпускающихся по специальному заказу элементов.

Каждый функциональный блок стенда требует отдельной разработки с учетом взаимодействия с другими блоками, кроме того, к каждому блоку предъявляются специализированные технико-экономические требования.

Блок механических узлов для размещения, удержания и электрического подключения элементов Пельтье, состоит из:

- Стола-подложки, выполненного из теплопроводящей керамики, обеспечивающий равномерное прилегание располагающихся на его поверхности элементов;
- Датчиков температуры, с точностью измерения 0,1 градуса по шкале Цельсия, размещенных в геометрической последовательности, покрывающей точки измерения всей поверхности элемента, кроме того, обеспечивающих минимальное число сенсоров на единицу рабочей площади поля измерения;
- Крышки прижимной, состоящей из теплопроводящей керамики с организованным теплоотводом, с измерением количества отведенного от поверхности элемента тепла;
- Клеммных зажимных разъемов, обеспечивающих быстрый и надежный электромеханический контакт для подключения элементов к измерительному оборудованию стенда.

Сферы применения экспериментального стенда контроля параметров элементов Пельтье:

- Контроль и измерение параметров серийно выпускаемых элементов Пельтье;
- Производственный и межоперационный контроль при производстве элементов как электронной компонентной базы;
- Производство прецизионного оборудования, требующего применения систем поддержания точных температурных условий, такого как тепловизоры, лазерные проекторы, мобильные вычислительные системы.

Литература

1. В.Г. Охрем. Термоэлектрическое охлаждение с помощью эффекта Пельтье. Прикладная физика №5, 2011.

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering

Nuclear, electrical engineering, mechanical engineering