

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**VII Международная научно-практическая  
конференция**

**«Физико-технические проблемы в науке,  
промышленности и медицине»**

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ**

**ТОМСК  
3-6 июня 2015**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

## **СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ**

### **Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине**

Конференция посвящена 65-летию физико-техническому образованию

#### **СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ**

- Секция 1 Физико-энергетические и электрофизические установки
- Секция 2 Инновационные материалы и технологии в ядерной и «зеленой» энергетике
- Секция 3 Математическое моделирование в фундаментальных и прикладных исследованиях
- Секция 4 Физико-химические и изотопные технологии в науке, промышленности и медицине
- Секция 5 Радиационные и пучково-плазменные технологии в науке, технике и медицине
- Секция 6 Актуальные вопросы ядерного нераспространения, безопасность и экология ядерной отрасли
- Секция 7 Информационные технологии, автоматизация и системы управления

Томск – 2015

УДК 62:53+61:53(063)  
ББК 3+5л0  
Ф503

Ф503 Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2015. – 340 с.

Сборник тезисов докладов включает материалы VII Международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине». Конференция проводится на Физико-техническом институте Томского политехнического университета 3– 6 июня 2015 г.

Материалы сборника представлены в авторской редакции.

## **Редакционная коллегия**

Дьяченко А.Н., д.х.н.	Председатель, д.т.н., профессор, проректор ТПУ по НРИИ
Долматов О.Ю., к.ф.-м.н	Сопредседатель, к.ф.-м.н., доцент, директор ФТИ ТПУ
Вагнер А.Р., к.ф.-м.н	Секретарь оргкомитета, к.ф.-м.н., начальник научного отдела ФТИ
Исаченко Д.С., к.ф.-м.н	Физико-энергетические и электро-физические установки
Кривобоков В.П., д.ф.-м.н.	Инновационные материалы и технологии в ядерной и «зеленой» энергетике
Трифонов А.Ю., д.ф.-м.н.	Математическое моделирование в фундаментальных и прикладных исследованиях
Шаманин И.В., д.ф.-м.н.	Физико-химические и изотопные технологии в науке, промышленности и медицине
Степанов И.Б., д.т.н.	Радиационные и пучково-плазменные технологии в науке, технике и медицине
Демянюк Д.Г., к.т.н.	Актуальные вопросы ядерного нераспространения, безопасность и экология ядерной отрасли
Горюнов А.Г., д.т.н	Информационные технологии, автоматизация и системы управления

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Секция 1 Физико-энергетические и электрофизические установки</b>	<b>25</b>
<b>PROBLEMS OF EXPLORATION OF STEAM GENERATORS IN NUCLEAR POWER PLANT</b> <u>E. Bondarenko, I. Lomov, Y. Ermakova</u>	<b>26</b>
<b>FORMATION OF HIGH POWER MICROWAVE PULSES WITH ADJUSTABLE PARAMETERS IN RF COMPRESSION SYSTEMS</b> <u>S.A. Gorev, V.S. Igumnov</u>	<b>28</b>
<b>WIND GENERATORS</b> <u>A.S.Kravets</u>	<b>29</b>
<b>CONSERVATION OF ENERGY</b> <u>M. Matvienko, E. Lykov</u>	<b>30</b>
<b>RESEARCH OF NUCLIDE KINETICS FOR REACTOR FUEL</b> <u>Duy Ha Phung, M.N. Anikin, A.G. Naymushin</u>	<b>30</b>
<b>ФОРМИРОВАНИЕ ЭМИ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СВЧ ИМПУЛЬСОВ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ СИСТЕМЕ</b> <u>Б.А. Алексеев, П.Ю. Чумерин</u>	<b>31</b>
<b>ВЛИЯНИЕ НУКЛИДНОГО СОСТАВА ТОПЛИВНОЙ ЗАГРУЗКИ НА РАЗМНОЖАЮЩИЕ И ВОСПРОИЗВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ КЛТ-40С</b> <u>Д.Ф. Байбаков, А.В. Годовых, В.Н. Нестеров</u>	<b>32</b>
<b>ТОРИЕВОЕ ТОПЛИВО В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ</b> <u>С.В. Беденко, И.В. Шаманин, Ю.Б. Чертков</u>	<b>33</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДИФФУЗНО – ОТРАЖЕННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ</b> <u>Е.К. Бурякова, И.В. Леонова, Л.И. Зыков, А.Н. Попов, А.П. Цацкин</u>	<b>34</b>
<b>ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТОРИЕВОГО ТОПЛИВА В РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ</b> <u>С.К. Дмитриев, И.И. Лебедев, А.Г. Наймушин</u>	<b>36</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО СИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ (ВВСВ)</b> <u>Б.Е. Жоламанов</u>	<b>37</b>
<b>ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ РАЗЪДИНИТЕЛИ ДЛЯ СХЕМЫ ПО ВЕЙЛЯ - ДОБКЕ</b> <u>Б.Е. Жоламанов</u>	<b>38</b>
<b>НЕЙТРОННО – ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ В ОБОСНОВАНИИ МОДЕРНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИВГ1.М</b> <u>Б. М Закуов, Ю. Б. Чертков</u>	<b>39</b>
<b>СОЗДАНИЕ ИЯУ МБИР</b> <u>С.А. Киверов, С.И. Новиков, В.Р. Парфенов</u>	<b>40</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРОВ СВБР И SFR</b> <u>В.Е. Ключев</u>	<b>41</b>

<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ КАСКАДНЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В РЕАКТОРНОМ ГРАФИТЕ РЕАКТОРОВ ВТГР ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ</b> <u>П.А. Комаров</u> , Д.К. Пугачев	43
<b>ГЕНЕРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ РЕЦИРКУЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ МИШЕНИ</b> <u>С.И. Кузнецов</u> , В.Н. Забаев, В.В. Каплин, С.Р. Углов, П.В. Маерков	44
<b>ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.</b> Ю.А. Бежаев, <u>А.А. Лукашук</u> , Л.Ф. Смекалин	45
<b>ФАКТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИМСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ СИНТЕЗОМ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БОРИДОВ</b> <u>М.Б. Лабыкин</u> , Е.В. Шкляренко	46
<b>ПОРОГОВЫЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗМНОЖАЮЩИХ РЕШЕТКАХ И СИСТЕМАХ С ТОРИЕМ</b> <u>В.В. Кнышев</u> , О.А. Украинец., А.А. Иванова	47
<b>НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МИКРОТОПЛИВА</b> <u>С.А. Монгуш</u>	47
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУГР ФГУП «ГХК» ПО ВАРИАНТУ РАДИАЦИОННО-БЕЗОПАСНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ НА МЕСТЕ</b> <u>А.А. Музыкантов</u> , П.М. Гаврилов, Д.О. Чубреев	48
<b>ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУГР ФГУП «ГХК». ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ»</b> <u>А.А. Музыкантов</u> , П.М. Гаврилов, М.В. Антоненко	49
<b>РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНВЕРТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ В ТЕРМОЯДЕРНЫЕ В ПРОЦЕССЕ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ</b> <u>И.В. Прозорова</u> , М.К. Скаков, И.Л. Тажибаева, Т.В. Кульсартов	50
<b>СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ И РАСХОДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС КОПУСНОГО КИПЯЩЕГО РЕАКТОРА</b> В.П. Садулин	51
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ</b> <u>В.Е. Юричев</u> , Е.В. Шушкова, Д.А. Конева	52
<b>РАСЧЕТЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА РЕЗОНАНСНОГО УСКОРИТЕЛЯ БЕТА-8</b> <u>А.М. Опекунов</u> , М.Л. Сметанин, А.В. Тельнов, И.В. Шориков	523
<b>Секция 2 Инновационные материалы и технологии в ядерной и «зеленой» энергетике</b>	55
<b>THE INVESTIGATION OF HYDRIDES DEPTH DISTRIBUTION IN ZIRCONIUM ALLOY ZR-1NB AFTER HYDROGENATION AT GAS ATMOSPHERE</b> <u>M.N. Babihina</u>	56

<b>DETERMINATION OF THE NICKEL COATING ON THE Zr1%Nb ALLOY THICKNESS BY X-RAY METHOD</b>	
<u>D. T. Zavazieva</u> , M. S. Syrtanov, E. B. Kashkarov, V. N. Kudiyarov	57
<b>ENERGY EFFICIENCY DEVELOPMENT</b>	
<u>S. Seitkazi</u>	58
<b>ВЫДЕЛЕНИЕ АМЕРИЦИЯ ИЗ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА</b>	
<u>А. И. Гожимов</u> , Ю. А. Чурсин	59
<b>РАЗРАБОТКА ПЛАЗМЕННОГО МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ</b>	
Н.Е. Губайдуллин	59
<b>ПОВЫШЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ЗАКИСИ-ОКИСИ УРАНА, ПОЛУЧАЕМОЙ МЕТОДОМ ПЕРОКСИДНОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ТОВАРНОГО ДЕСОРБАТА</b>	
Д.Г. Демянюк, <u>З.Е. Дюсембекова</u>	60
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОТЕКАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СВС</b>	
<u>В.В. Закусиллов</u>	61
<b>НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОРИЯ</b>	
<u>Д. Е. Золотых</u> , А. Г. Наймушин, М. Н. Аникин	62
<b>ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ НИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ НА СКОРОСТЬ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВОДОРОДА В ЦИРКОНИЕВЫЙ СПЛАВ ZR1%NB</b>	
<u>Е.Б. Кашкаров</u> , М.С. Сыртанов, В.Н. Кудияров	63
<b>ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ В УПОРЯДОЧИВАЮЩИХСЯ СПЛАВАХ СО СВЕРХСТРУКТУРОЙ D1<sub>a</sub></b>	
В.Д. Клопотов, А.И. Потекаев, А.А. Клопотов, Т.Н. Маркова, Э.В. Козлов	64
<b>РЕГУЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ</b>	
В.Д. Клопотов, Н.П. Горленко, Ю.С. Саркисов, А.К. Кульченко, А.А. Клопотов	66
<b>ФОРМИРОВАНИЕ В ОБОЛОЧКАХ ТВЭЛОВ ГРАДИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА И ГИДРИДОВ ПО ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ</b>	
<u>В.Н. Кудияров</u>	67
<b>ВЛИЯНИЕ ТЕРМО- И РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННОГО ВЫХОДА ВОДОРОДА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V</b>	
<u>В.Н. Кудияров</u> , Е.Н. Степанова, В.С. Сыпченко	67
<b>ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ВИХРЕВЫМИ ТОКАМИ</b>	
<u>В.В. Ларионов</u> , А.М. Лидер, Н.С. Пушилина	68
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМУЕМОСТИ И УПЛОНЯЕМОСТИ КАРБИДА БОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ПЛАСТИФИКАТОРА</b>	
<u>А.И. Лизунов</u> , В.С. Панов, Ж.В. Еремеева	69
<b>ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИДРОКСИАПАТИТА, СИНТЕЗИРОВАННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭДТА</b>	

<u>В.А. Малышева, Л.А. Леонова</u>	70
<b>УРАВНЕНИЯ КИНЕТИКИ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ГЦК- КРИСТАЛЛАХ</b>	
<u>М.В. Матвеев, О.В. Селиваникова, Д.Н. Черепанов</u>	71
<b>СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА АЗОТНОКИСЛЫХ ЭКСТРАКЦИОННЫХ РАФИНАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОННООБМЕННОЙ СМОЛЫ S957</b>	
<u>А.А. Морозова, М.А. Земченко</u>	73
<b>РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА ПРОИЗВОДСТВА МОКС-ТОПЛИВА ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА №4 БАЭС</b>	
<u>А.А. Пастухов, С.И. Бычков</u>	74
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ СЛИТКОВ КРЕМНИЯ В РЕАКТОРЕ ИРТ-Т</b>	
<u>А. А. Сливин, И. И. Лебедев, Ю. Б. Чертков</u>	75
<b>НАКОПЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ МИШЕНЯМИ ИЗ ПАЛЛАДИЯ И ТИТАНА</b>	
<u>И.П. Чернов, В.В. Ларионов, А.М. Лидер</u>	76
<b>СОВМЕСТИМОСТЬ МАТЕРИАЛА МАТРИЦЫ И ТОПЛИВА В ДИСПЕРСИОННЫХ ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ</b>	
<u>А.В. Чуйкина</u>	77
<b>Секция 3 Математическое моделирование в фундаментальных и прикладных исследованиях</b>	79
<b>SPECTRAL AND ANGULAR CHARACTERISTICS OF VAVILOV-CHERENKOV RADIATION FROM A DIELECTRIC TARGET IN THE MILLIMETER WAVELENGTH RANGE</b>	
<u>V.V. Bleko, V.V. Soboleva</u>	80
<b>MEAN TIME OF PERFORMANCE FOR PERISHABLE ITEMS</b>	
<u>Yu.I. Galanov, A.V. Kitaeva, N.V. Stepanova, U. Jakubowska</u>	81
<b>RESUMMATION OF DIVERGENT PERTUBATION SERIES. APPLICATION TO CALCULATIONS OF VIBRATIONAL ENERGY SPECTRUM OF DIFFERENT MOLECULES.</b>	
<u>A. N. Duchko, A.D. Bykov, M. Saqib</u>	82
<b>MODELLING OF FREE POSITRON STATES IN TiH<sub>x</sub></b>	
<u>O.N. Imas, I.Yu. Karataeva</u>	83
<b>THRESHOLD PROCESSES IN TECHNICAL SYSTEMS WITH URANIUM AND THORIUM</b>	
<u>V.V Knyshev, S.V Bedenko., S.V Gritsyuk</u>	84
<b>SIMPLE PHYSICAL MODELS IN PRACTICAL APPLICATIONS FOR NEW ENGINEERING TASKS</b>	
<u>V. Mikhaylov, V. Kushpil, S. Kushpil, S.N. Liventsov</u>	84
<b>FINANCIAL INSTRUMENTS PORTFOLIO OPTIMIZATION</b>	
<u>M.K. Moshenec</u>	85
<b>ОДНОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ МИКРОВОЛНОВОЙ ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА КТМ</b>	
<u>Ю.Ю. Ан, А.В. Шарни, Л.А. Лобес</u>	86

<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩЕЙ ПРИМЕСИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ОЦЕНОК СКОРОСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ОСЕДАНИЯ ЧАСТИЦ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ</b>	
<u>В.О. Бабичева, Е.А. Покровская, Н.К. Рыжакова, А.Л. Борисенко</u>	<b>87</b>
<b>ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ НА ВНУТРЕННИХ ГРАНИЦАХ ГАЗОСБОРНОЙ СЕТИ ГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА</b>	
<u>В.М. Белов, В.В. Жаровцев</u>	<b>88</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОСМИЧЕСКОГО СПЕКТРА ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ</b>	
<u>В.И. Беспалов, В.М. Зыков</u>	<b>89</b>
<b>МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОГНОЗА</b>	
<u>Р.В. Бозняков</u>	<b>90</b>
<b>О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ</b>	
<u>Б.В. Бошенятов, К.Н. Жильцов, И.М. Тырышкин</u>	<b>91</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ РАФИНИРОВАНИИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА</b>	
<u>Н.С. Брыляков, С.Н. Ливенцов</u>	<b>91</b>
<b>МЕТОДОЛОГИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИНФОРМИРОВАННЫХ ТРЕЙДЕРОВ ПРИ ТОРГОВЛЕ РИСКОВЫМИ АКТИВАМИ</b>	
<u>Л.А. Глик, О.Л. Крицкий, А.Ю. Трифонов</u>	<b>92</b>
<b>ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕВЕНБЕРГА-МАРКВАРДА ДЛЯ ПОДБОРА ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА ОДНОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ</b>	
<u>С.П. Голубев</u>	<b>93</b>
<b>ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ХЕДЖИРУЮЩЕЙ СТРАТЕГИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ИСПОЛНЕНИЕ LOOKBACK ОПЦИОНА ПРОДАЖИ НА ФОНДОВЫЙ ИНДЕКС</b>	
<u>Е.Ю. Данилюк, С.В. Рожкова</u>	<b>95</b>
<b>РАСЧЕТ ДЕСУБЛИМАЦИИ ФТОРИСТОГО ВОДОРОДА ИЗ ГАЗОВОЙ СМЕСИ НА СТЕНКАХ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ЕМКОВ</b>	
<u>М.И. Дурновцев, А.Ю. Крайнов, С.М. Губанов</u>	<b>96</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ ВЫСОКО ТЕХНОЛОГИЧНЫХ КОМПАНИЙ МЕТОДАМИ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА</b>	
<u>И.В. Загуменнова, М.Л. Шинкеев</u>	<b>97</b>
<b>ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В УРАН-ТОРИЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</b>	
<u>А.А. Иванова, В.В. Кнышев, С.В. Беденко</u>	<b>98</b>
<b>ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО РАДАРА В ПЛАЗМЕ УСТАНОВОК УТС</b>	
<u>А.Д. Исаков, Л.А. Лобес, А.В. Шарнин</u>	<b>99</b>
<b>РАСЧЕТ ОСНОВНОГО И НЕКОТОРЫХ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЛИТИЙ-ПОДОБНЫХ ИОНОВ УРАНА</b>	
<u>Г.Е. Тшикеди, В.А. Килин, Е.А. Сеницын</u>	<b>99</b>

<b>КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ В КR III</b> <u>Б.Д. Уиллокс</u> , В.А. Килин, Р.Ю. Килин	<b>100</b>
<b>САТЕЛЛИТНЫЕ ОЖЕ-ПЕРЕХОДЫ В КRII</b> <u>В.А. Килин</u> , Р.Ю. Килин	<b>101</b>
<b>АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ МОМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРАЩЕНИЙ ЦЕН ПАРЫ USD/RUB</b> <u>М.О. Кинева</u> , О.Л. Крицкий	<b>102</b>
<b>ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСФАЗНОЙ МИШЕНИ ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОПЕРЕЧНОГО РАЗМЕРА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА</b> <u>Е.В. Корноухова</u> , Д.А. Шкитов, А.С. Коньков	<b>103</b>
<b>РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ КАТОДНОГО ОСАДКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ АКТИНОИДОВ</b> <u>Е.А. Смекалин</u> , <u>Т.А. Корчуганова</u> , С.Н. Ливенцов	<b>104</b>
<b>О ВЫЧИСЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФУРЬЕ В МОДЕЛЯХ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ</b> <u>И.В. Корытов</u> , С.Е. Голосов	<b>105</b>
<b>ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ТРЕХМЕРНОГО FDTD-СИМУЛЯТОРА ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ ПЛАЗМЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСАХ</b> <u>А.С. Кравец</u> , Л.А. Лобес, А.В. Шарнин	<b>106</b>
<b>ВАРИАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ТАБЛЕТОК ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ</b> <u>И.И.Локтев</u> , Е.В.Выходцев	<b>107</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО СМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СМЕСИТЕЛЕ МЕТОДОМ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА</b> <u>И.И.Локтев</u> , Е.В.Выходцев	<b>108</b>
<b>МОДЕЛЬ СМЕШИВАНИЯ ПОРОШКОВ В МЕХАНИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЯХ</b> <u>И.И.Локтев</u> , Е.В.Выходцев	<b>109</b>
<b>ОЦЕНКА ОДНОРОДНОСТИ СМЕШИВАНИЯ ПОРОШКОВ ДВУХ ФРАКЦИЙ.</b> <u>И.И.Локтев</u> , Е.В.Выходцев	<b>110</b>
<b>ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b> <u>И.И.Локтев</u> , Ю.В.Гончаров, А.В.Струков	<b>111</b>
<b>СОСТАВНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕССОВАНИЯ ТАБЛЕТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ</b> <u>И.И.Локтев</u> , Е.В.Выходцев	<b>112</b>
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ ГАЗООБРАЗНОГО UF<sub>6</sub></b> <u>Р.В. Малюгин</u> , А.А. Орлов, А.Ф. Цимбалюк	<b>113</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УРАВНЕНИЯ КРИВОЙ ЖИЗНИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННОЙ ТЕОРИИ</b> <u>В.И. Меркулов</u> , А.П. Леонов, К.П. Арефьев	<b>114</b>
<b>АЛГОРИТМ ПОЛУЧЕНИЯ КОМБИНАЦИИ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ</b>	

<u>Е.Н. Некряч</u> , А.С. Загорин	115
<b>МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЕГЭ ПОСТУПИВШИХ НА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ</b> <u>Д.А.Новосельцева</u> , А.А. Михальчук	116
<b>ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА МЛАДШИХ КУРСАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА</b> <u>Е.И. Подберезина</u> , Э.Н. Подскребко, Е.Н. Некряч	117
<b>РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ</b> А.С. Попов, А.В. Обходский	119
<b>АСИМПТОТИКИ И НЕВЯЗКА ОДНОМЕРНОГО НЕЛОКАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ФИШЕРА-КОЛМОГОРОВА-ПЕТРОВСКОГО-ПИСКУНОВА С ДРОБНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ</b> <u>А.А. Прозоров</u>	121
<b>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЦЕНКИ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ СТАЦИОНАРНОГО ГАУССОВСКОГО МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОГО ТИПА</b> <u>О.В. Рожкова</u> , Н.С. Демин	122
<b>ТЕОРИЯ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ КАК МЕТОД ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ УРАНА</b> <u>Д.А. Сериков</u> , А.О. Очоа Бикэ	122
<b>РАСЧЁТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВИГГЛЕРА НА УСКОРИТЕЛЕ LUCX@КЕК</b> <u>Я.Н. Сутыгина</u> , А.Е. Харисова, Д.А. Шкитов	123
<b>БОЛЬШИЕ ЧИСЛА П. ДИРАКА И АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ АНАЛИЗ</b> А.М.Сухотин	124
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРА МОЩНОСТИ СТАЦИОНАРНОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА В ВИДЕ СПЛАЙНА ПЕРВОГО ПОРЯДКА ПРИ СЛУЧАЙНОМ ЧИСЛЕ ДАННЫХ В МОМЕНТАХ ИЗМЕРЕНИЙ</b> <u>И.Г. Устинова</u> , Е.И. Подберезина	125
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕНДА ВРЕМЕННОГО РЯДА В ВИДЕ СПЛАЙНА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА ПРИ СЛУЧАЙНОМ ЧИСЛЕ ДАННЫХ В МОМЕНТАХ ИЗМЕРЕНИЙ</b> <u>И.Г. Устинова</u> , Е.Г. Пахомова	126
<b>ГАЛАКТИКИ КАК УСКОРИТЕЛИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ</b> <u>В.В. Учайкин</u> , Р.Т. Сибатов, О.П. Харлова	128
<b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В КАСКАДЕ ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ИЗОТОПНЫХ СМЕСЕЙ</b> <u>А.А. Ушаков</u> , В.П. Совач, А.А. Орлов	130
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ И МОДУЛЯ АНАЛИТИКИ QUIK ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ФИНАНСОВЫХ РЕШЕНИЙ</b> <u>М.Э. Фатьянова</u> , М.Е. Семенов	131
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОНДУЛЯТОРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПАРАМЕТРОВ УСКОРИТЕЛЯ LUCX@КЕК</b> <u>А.Е. Харисова</u> , Я.Н. Сутыгина, Д.А. Шкитов	132

<b>РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ВЫХОДА РАДИОУГЛЕРОДА ЗА ПРЕДЕЛЫ ПУНКТА ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ</b> <u>Д.О. Чубреев</u> , М.В. Антоненко, Г.В. Кузнецов	133
<b>ЗАКОН ОМА И ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ СО СТРУКТУРОЙ ГОМОГЕННЫХ ФРАКТАЛОВ</b> В.А. Чуриков	134
<b>РОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ ПАР ИЗ ВАКУУМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ</b> <u>В.М. Шахматов</u>	135
<b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ СКАНИРУЮЩИМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ</b> И.Н. Шейно, А.В. Гордеев	136
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ</b> <u>И.И. Шолохова</u> , Е.Ж. Сарсикеев, Е.А. Молдованова	137
<b>О ПРИРОДЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В НАНОСТРУКТУРАХ</b> К.Н. Югай	138
<b>Секция 4 Физико-химические и изотопные технологии в науке, промышленности и медицинематериалов</b>	141
<b>MODELING OF EXCHANGE SEPARATION PROCESSES ON SOLID-PHASE COMPOUNDS</b> L.I. Dorofeyeva, <u>E.A. Boretsky</u> , E.S. Titov	142
<b>RADIATION-CHEMICAL AND THERMAL GRAFTING OF THIN FILMS FOR FUNCTIONAL PVDF MEMBRANE</b> <u>A.P. Il'inskiy</u>	143
<b>EFFECT MACHINING OF BATCH ON LINEAR PARTICLE SIZES</b> <u>D.D. Kasatkin</u>	144
<b>MATERIALS USED IN IMPLANTOLOGY</b> <u>S.A. Lapin</u> , A.A. Christenko	145
<b>POLYMERIC MATERIALS MODIFICATION</b> <u>N.A. Ledengskiy</u> , D. Kasatkin	146
<b>THIN HYDROXYAPATITE COATING ON AZ91D MAGNESIUM ALLOY FABRICATED VIA RF-MAGNETRON SPUTTERING</b> <u>E.S. Melnikov</u> , T. M. Mukhametkaliyev, M. A. Surmeneva	147
<b>ELECTROIONITE PROCESSES IN TWO-PHASE EXCHANGE SYSTEMS</b> L.I. Dorofeyeva, <u>D.V. Orekhov</u>	148
<b>ANNIHILATION OF ELECTRON</b> <u>Y.V. Petrakov</u> , L.E. Fedotov	149
<b>PLASMA RECEIVING THERMAL ENERGY FROM SULPHATE LIGNIN</b>	

<u>K.G. Piunova, A.G. Karegin</u>	150
<b>GLYCINE ADSORPTION ON TiO<sub>2</sub> AND ZrO<sub>2</sub> NANOPARTICLES SURFACE</b> <u>A.A. Rakina, A.Yu. Godymchuk</u>	151
<b>KINETICS AND MECHANISM OF ORGANIC COMPOUNDS OXIDATION BY PULSED CORONA DISCHARGE</b> <u>M.A.Самакбаева, Marjatta. Louhi Kultanen</u>	152
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ СЕРЕБРА НА ТВЕРДОФАЗНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ ЭКСТРАКЦИОННОГО ПЕРЕДЕЛА ПРОИЗВОДСТВА МОКС-ТОПЛИВА НА ФГУП ФЯО «ГХК»</b> <u>Г.А. Апальков, А.Ю. Жабин, С.И. Смирнов</u>	153
<b>ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ, ПРИНАДЛЕЖАЩИХ БОЛОТНОМУ ООБЩЕТВУ</b> <u>В.О. Бабичева, Н.К. Рыжакова, Л.Г. Бабешина</u>	154
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ ОБМЕННЫХ И ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ СИСТЕМ ИЗОТОПНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ</b> <u>В.С. Балашков, А.С. Дрогалев, А.А. Котельникова, А.П. Вергун</u>	155
<b>ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАЗМАТРОНОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА</b> <u>В.Ф. Мышкин, Е.В. Беспала, В.А. Хан</u>	157
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИИ ВОДОРОДА НАНОСТРУКТУРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ</b> <u>Е.А.Борецкий, Д.Л.Верхорубов, Д.Г.Видяев</u>	158
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ РЗЭ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ФОСФОР-СОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ</b> <u>А.С. Буйновский, В.И. Сачков, П.Б. Молоков, А.В. Ануфриева</u>	159
<b>ПЕРЕРАБОТКА U-МО ТОПЛИВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТВС ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ</b> <u>И.В.Васильков</u>	160
<b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ</b> <u>В.А. Власов, П.В. Космачев, Н.К. Скрипникова</u>	161
<b>КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ ОБОРОТОВ ТАБЛЕТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА</b> <u>Е.В. Выходцев, А.Л.Хлытин</u>	162
<b>ВРЕМЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОНУКЛИДНОЙ ЧИСТОТЫ (РНЧ) ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ.</b> <u>А.А. Гарапацкий</u>	163
<b>РАЗРАБОТКА СПОСОБА ВСКРЫТИЯ МОНАЦИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА</b> <u>М. Ф. Джаббарова, М. В. Туринская, В. В. Шагалов</u>	164
<b>РЕГЕНЕРАЦИЯ СЕРЕБРА ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ БЕССОЛЕВЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ</b> <u>А.С. Дьяченко</u>	165
<b>ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА РАСТВОРЕНИЕ ДИОКСИДА ПОЛУТОНИЯ</b>	

В.В. Бондин, Е.О. Григорьева, <u>И.Г.Ефремов</u> А.В. Сиротина	166
<b>ПЛАЗМЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СМЕСЕВЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАН-ТОРИЕВОГО ТОПЛИВА</b> <u>В.В. Зубов</u> , И.Ю. Новоселов, И.В. Шаманин, А.Г. Каренгин	167
<b>СУБЛИМАЦИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР РЕНИЯ-188</b> <u>В.В. Зукау</u> , В.Г. Меркулов, Е.В. Чибисов	168
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ РАДИОФАРМПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ЦИПРОФЛОКСАЦИНА, МЕЧЕНОГО ТЕХНЕЦИЕМ</b> <u>Ю.Н. Ильющенкова</u> , С.И. Сазонова, Н.В. Варламова, М.Р. Карпова	169
<b>ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ НАА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В НАНОПОРОШКЕ АЛЮМИНИЯ И ПРОДУКТАХ ЕГО СГОРАНИЯ</b> <u>Д.В. Кабанов</u> , А.П. Ильин, В.Г. Меркулов	170
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕ ВЧФ-РАЗРЯДА</b> <u>А.А. Каренгин</u> , А.Г. Каренгин	171
<b>РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ГЛАДКОМЫШЕЧНЫХ СЕГМЕНТОВ СОСУДОВ И ВОЗДУХОНОСНЫХ ПУТЕЙ ЖИВОТНЫХ, ПОДВЕРГШИХСЯ ОБЛУЧЕНИЮ</b> <u>Н.И. Карпович</u> , Н.Д. Тургунова	172
<b>ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> <u>Д.К. Колядко</u>	173
<b>ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕАКЦИОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ РАСТВОРЕНИЯ ОЯТ НА КОНСТРУКЦИОННУЮ СТАЛЬ 12Х18Н10Т</b> <u>А.В. Кондратьев</u>	174
<b>СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЕЕ ОБЪЕКТОВ</b> <u>Т.Н. Кряжева</u> , И.В. Шаманин, Ю.В. Нестерова, В.В. Зукау	175
<b>ПОВЫШЕНИЕ СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЯДЕРНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ГЛАУКОМЫ</b> <u>М.Е. Кузнецова</u> , В.В. Сохорева	176
<b>ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ СПЛАВА ГАЛЛИЯ С ЛИТИЕМ</b> А.А. Орлов, Д.Г. Видяев, <u>А.Э. Лемякин</u>	177
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВ ФТОРИРОВАНИЯ ОКСИДОВ РЗЭ И СВОЙСТВ ПОЛУЧЕННЫХ ФТОРИДОВ</b> <u>Ю.Н. Макасева</u> , В.Л. Софронов, З.С. Иванов, Т.В. Костарева	178
<b>НЕХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ВАРИКОЗА</b> <u>Е.И. Мартыненко</u> , И.А. Климов, А.А. Денисевич	179
<b>ТЕРМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И ПРИРОДНОГО ЦЕОЛИТА</b> <u>Т.В. Мельникова</u> , Д.А. Русаков, О.Б. Назаренко	180

<b>ПЛАЗМЕННОЕ ОКИСЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ</b> В.А. Хан, <u>В.Ф. Мышкин</u> , И.А. Ушаков	<b>181</b>
<b>КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ СРВ-1В</b> <u>А.И. Наумик</u> , А.А. Веригин	<b>182</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ</b> В.Г. Бутов, С.Н. Тимченко, <u>А.А. Никлюдов</u>	<b>183</b>
<b>ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ КИСЛОТНОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОКСИДНЫХ СТРУКТУР ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ</b> <u>В. П. Нестеренко</u> , Ю. Ю. Пчелинцева, К. П. Арефьев	<b>183</b>
<b>СВЯЗЬ МЕЖДУ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОКСИДНЫХ СТРУКТУР ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ И ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ</b> <u>В. П. Нестеренко</u> , К. П. Арефьев, В. И. Меркулов	<b>184</b>
<b>РЕЦИКЛИНГ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГЕНЕРАТОРОВ ТЕХНЕЦИЯ-99М ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ</b> <u>Е.А. Нестеров</u> , Е.А. Ильина, Л.А. Ларионова	<b>185</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА, ГОРЯЩЕГО В ЗАПЫЛЁННЫХ СРЕДАХ</b> Ю.Ю. Луценко, <u>Д.В. Орехов</u> , А.Д. Побережников	<b>186</b>
<b>ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b> <u>Ю.В. Островский</u> , В.Г. Глушков	<b>187</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ С ПОМОЩЬЮ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С РАСХОДЯЩИМСЯ ПУЧКОМ РЕНГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b> <u>Ф.А. Пак</u> , А.Д. Южаков, С.Г. Стучебров	<b>188</b>
<b>ПЛАЗМЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ СУЛЬФАТНОГО ЛИГНИНА</b> <u>К.Г. Пиунова</u> , А.Г. Каренгин	<b>189</b>
<b>О ХАРАКТЕРЕ ЗАТУХАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЗАПЫЛЁННОЙ ПЛАЗМЕ ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА</b> Ю.Ю. Луценко, <u>А.В. Родионов</u> , Е.П. Зеленецкая	<b>190</b>
<b>РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОЙ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЙ КОЛОНКИ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА ТЕХНЕЦИЯ-99М НА ОСНОВЕ АКТИВАЦИОННОГО МОЛИБДЕНА</b> В.С. Скуридин, Е.С. Стасюк, <u>А.С. Рогов</u>	<b>191</b>
<b>ПРИМЕНЕНИЕ БИОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИШЕМИИ ТКАНЕЙ</b> <u>С.К. Сактаганова</u> , А.Н. Алейник, Н.Д. Тургунова	<b>192</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВАНАДИЯ И НИКЕЛЯ МЕТОДОМ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА В АСФАЛЬТЕНАХ</b> <u>Е.А. Свиридова</u> , И.В. Шаманин, В.Г. Меркулов, Т.Н. Кряжева	<b>193</b>
<b>ТЕХНОЛОГИИ ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВАНАДИЯ И НИКЕЛЯ ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛОЙ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ</b> <u>Е.А. Свиридова</u> , И.В. Шаманин, В.Г. Меркулов, Т.Н. Кряжева	<b>194</b>

<b>РАЗРАБОТКА ОКСИМЕТРА ДЛЯ НЕВРОЛОГИИ</b> <u>З.К.Серикбекова</u> , А.Н. Алейник, Н.Г. Жукова, И.А. Жукова, М.А. Никитина	<b>195</b>
<b>ФТОРАММОНИЙНЫЙ МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ ЦИРКОНА</b> <u>А.А. Смороков</u>	<b>196</b>
<b>ПРИМЕНЕНИЕ Ва(BrF<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ДЛЯ СИНТЕЗА БРОМАЛКАНОВ</b> <u>В.И. Соболев</u> , Р.В. Оствальд, И.А. Соболев, И.И. Жерин, В.В. Шагалов	<b>197</b>
<b>ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ОБРАБОТКА ФТОРСОДЕРЖАЩИХ КИСЛОТНЫХ РАСТВОРОВ</b> <u>С.А. Сосновский</u> , В.И. Сачков	<b>198</b>
<b>ГИДРИРОВАНИЕ ЛИГАТУР ND-FE ПРИ РАЗЛИЧНОМ ДАВЛЕНИИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА</b> <u>В.Л. Софронов</u> , А.С. Буйновский, Е.Ю. Карташов, М.Е. Калаев	<b>199</b>
<b>РАЗРАБОТКА ОБЩИХ ПРИНЦИПОВ ВВЕДЕНИЯ РАДИОАКТИВНОЙ МЕТКИ ТЕХНЕЦИЯ-99М В ПРОИЗВОДНЫЕ ГЛЮКОЗЫ</b> <u>Е.С. Стасюк</u> , В.С. Скуридин, Е.А. Ильина	<b>200</b>
<b>КИНЕТИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ</b> А.А. Орлов, Д.Г. Видяев, <u>Е.А. Тюделеков</u>	<b>201</b>
<b>ФОРМИРОВАНИЕ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ</b> В.Ф. Мышкин, <u>И.А. Ушаков</u> , А.С. Григорьев	<b>202</b>
<b>ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ НА ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА РАДОНА</b> <u>К.О. Шилова</u> , Н.К. Рыжакова, Ю.О. Ключникова	<b>203</b>
<b>ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА БИОПОКРЫТИЙ</b> <u>А.А. Шинжина</u> , М.Б. Седельникова	<b>204</b>
<b>ОБРАБОТКА ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ РАСХОДЯЩЕГОСЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ПУЧКА НА МНОГОКАНАЛЬНОМ ГАЗОРАЗРЯДНОМ ДЕТЕКТОРЕ</b> <u>А.Д. Южаков</u> , Ф.А. Пак, С.Г. Стучебров	<b>205</b>
<b>Секция 5 Радиационные и пучково-плазменные технологии в науке, технике и медицине</b>	<b>206</b>
<b>CONTROL OF VACUUM ARC MACROPARTICLES BY NEGATIVE REPETITIVELY PULSED BIASING</b> A.I. Ryabchikov, D.O. Sivin, <u>A.I. Bumagina</u> , D.A. Andriyashin	<b>207</b>
<b>SYNTHESIS OF MONOCRYSTALLINE ULTRADISPERSED ZINC OXIDE POWDER</b> <u>Е.М. Vodopyanov</u>	<b>208</b>
<b>TEMPORAL AND SPATIAL DEPENDENCES IN BEHAVIOR OF ATMOSPHERIC RADON, THORON AND THEIR DECAY PRODUCTS</b> <u>А.Г. Kondratjeva</u> , V.S. Yakovleva, N.S. Mishina	<b>208</b>
<b>MAGNETRON SPUTTERING SYSTEM</b>	

<u>A.V. Lazarev, M.A. Andreeva, U.A. Smirnova</u>	209
<b>COMPUTER MODEL OF THE «ASTRA» PULSED ELECTRON ACCELERATOR</b> <u>M. A. Serebrennikov, I. S. Egorov</u>	210
<b>THE RESERCH OF INFLUENCE OF PLASMA IMMERSION ION IMPLANTATION OF TITANIUM ON HYDROGEN SORPTION OF Zr-2,5% Nb</b> <u>A.N. Sutygina, E.B. Kashkarov, N.N. Nikitenkov</u>	211
<b>CHANGING OF TRACK MEMBRANES CONTACT WETTING ANGLE AFTER LOW-TEMPERATURE ATMOSPHERIC PLASMA TREATMENT</b> <u>E. O. Filippova, V.F. Pichugin</u>	212
<b>STRUCTURE OF POLYMER NONWOVENS MATERIALS OBTAINED BY ELECTROSPINNING AND SOLUTION BLOW SPINNING</b> <u>A.K Fomichev., T.L.Volokitina</u>	213
<b>GUIDE FOR CALIBRATION OF <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>- AND <math>\gamma</math>-RADIATION DETECTORS USED FOR SOIL RADON MONITORING</b> <u>M.S. Cherepnev, A.G. Kondratjeva, A.A. Stepanenko</u>	214
<b>A VACUUM ARC CATHODE MAGNETIC FIELD AND A SUBSTRATE BIAS INFLUENCE ON A MACROPARTICLE CONTENT DECREASING</b> <u>A.I. Ryabchikov, P.S. Ananjin, D.O. Sivin, A.E. Shevelev, S.G. Zhelomsky</u>	215
<b>АССИМЕТРИЧНЫЕ ТРЕКОВЫЕ МЕМБРАНЫ С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ</b> <u>Т.К. Ахметшарипова, А.А. Дюсембекова</u>	216
<b>СЕЧЕНИЕ И ФУНКЦИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ РЕАКЦИИ <math>^{186}\text{W}(d,2n)^{186}\text{Re}</math></b> <u>А.А. Баулин, В.М. Большаков, В.М. Головков</u>	217
<b>ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ <math>^{111}\text{In}</math> ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ</b> <u>В.М. Головков, А.А. Гарпацкий, А.М. Большаков</u>	218
<b>РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЙ ПЕРЕНОС ВОДОРОДА В МЕТАЛЛАХ</b> <u>А.С. Долгов, Ю.И. Тюрин, Н.Н. Никитенков</u>	219
<b>СОЗДАНИЕ ПРОТОНОПРОВОДЯЩЕЙ МЕМБРАНЫ РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ПЛЕНКИ ПВДФ</b> <u>А.А. Дюсембекова, В.В. Сохорева, Н.А. Дуброва</u>	220
<b>ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ НА ФТОРСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНКИ ПВДФ</b> <u>А.А. Дюсембекова, Т.К. Ахметшарипова</u>	221
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОННЫХ ПОЛЕЙ</b> <u>В.А. Варлачев, А.В. Головацкий, Е.Г. Емец, Я.А. Бутько</u>	222
<b>ИЗМЕРЕНИЕ ДОЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ И ГАММА-ИСТОЧНИКОВ</b> <u>Г.К. Жаксыбаева, И.А. Милойчикова, С.Г. Стучебров</u>	223
<b>ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ С ВЫСОКИМ Z В ТЕХНОЛОГИИ ФОТОН-ЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ</b> <u>П.В. Ижевский, И.Н. Шейно</u>	224

<b>ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРАНСМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b> <u>Д.В. Ивашков, А.В. Батрагин</u>	<b>225</b>
<b>ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ</b> <u>А.С. Кубанкин, К.А. Вохмянина, В.С. Левина, Г.П. Похил</u>	<b>226</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА МИКРОТРОНА МОДИФИЦИРОВАННЫМ ABS-ПЛАСТИКОМ</b> <u>И.А. Милойчикова, С.Г. Стучебров, Г.К. Жаксыбаева</u>	<b>227</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТА НА РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ</b> <u>Н.В. Мишина, М.С. Черепнев, В.С. Яковлева</u>	<b>228</b>
<b>ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА БЕТАТРОНА ПО ОПТИЧЕСКОМУ ПЕРЕХОДНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ</b> <u>А.И. Новокшенов, А.В. Вуколов, А.П. Потылицын, Т.Р. Мурдян, А.Е. Мовсисян, В.Р. Кочарян</u>	<b>229</b>
<b>ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА НА СПЕКТР ДИФРАГИРОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ КВАРЦА</b> <u>А.И. Новокшенов, А.В. Вуколов, А.П. Потылицын, Т.Р. Мурдян, А.Е. Мовсисян, В.Р. Кочарян</u>	<b>230</b>
<b>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОБЛАЦИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ</b> <u>А.А. Оспан, А.Н. Алейник, Н.А. Жумантаева, Л. И. Лисицына</u>	<b>231</b>
<b>РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КЕРАМИКИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ГАММА-КВАНТАМИ</b> <u>В.Ф. Пичугин, Л.Ф. Смекалин, А.М. Владимиров</u>	<b>232</b>
<b>СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПО ОБЛУЧЕНИЮ ОБРАЗЦОВ В УСЛОВИЯХ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР</b> <u>С.В. Перминов, С.А. Чуфистов</u>	<b>234</b>
<b>ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В РЕАКЦИИ В-И Г-ПОЛЕЙ НА АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ</b> <u>К.С. Рябкина, А.Г. Кондратьева, В.С. Яковлева, П.М. Нагорский</u>	<b>236</b>
<b>НАНОКОЛЛОИДНЫЙ ПРЕПАРАТ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, МЕЧЕННОГО ТЕХНЕЦИЕМ-99М</b> <u>В.Л. Садкин, А.С. Рогов, Е.А. Ильина</u>	<b>237</b>
<b>ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНОГО ГЛЮКОЗЫ, МЕЧЕННОГО ЙОДОМ-123</b> <u>А.С. Семенов, В.М. Головков, В.С. Скуридин</u>	<b>237</b>
<b>РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН</b> <u>В.В. Сохорева, В.М. Головков</u>	<b>238</b>
<b>ИЗМЕНЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РЗРЕЗА АТМОСФЕРНЫХ В- И Г-ПОЛЕЙ В ПЕРИОДЫ СХОДА И УСТАНОВЛЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА</b> <u>А. А. Степаненко, В.С. Яковлева, П.М. Нагорский</u>	<b>239</b>

<b>ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ЗАМАСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ</b> <u>В.С. Теменков, А.Г. Каренгин</u>	<b>240</b>
<b>ПЛАЗМЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СМЕСЕВЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ МОХ – ТОПЛИВА</b> <u>Н.В. Тундешев, Т.И. Лемешенко, А.Г. Каренгин</u>	<b>241</b>
<b>РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПРОЗРАЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ ОКСИДА ОЛОВА</b> <u>С.П. Умнов, О.Х. Асаинов, А Чинин</u>	<b>242</b>
<b>ГЕНЕРАЦИЯ ОЗОНА В ВОЗДУХЕ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ</b> <u>Ш.Р. Ходжамкулова, Д.Ю. Колоколов, В.В. Ежов</u>	<b>243</b>
<b>ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ ЗУБОЧЕЛЮСТНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА</b> <u>Ю.М. Черепенников, Е.М. Караваева, В.Н. Никитин</u>	<b>244</b>
<b>ОЦЕНКА УРОВНЯ СТЕРИЛЬНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОЦЕССЕ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ</b> <u>И.Н. Шейно, А.В. Гордеев</u>	<b>245</b>
<b>КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТНОСТИ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ</b> <u>Э.Б. Шошин, Т.В. Смекалина, А.И.Финтисов</u>	<b>246</b>
<b>РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ</b> <u>В.С. Яковлева, П.М. Нагорский, К.С. Рябкина</u>	<b>248</b>
<b>РАСЧЕТ ВЫХОДНЫХ ДОЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИШЕНИ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УСКОРИТЕЛЯ ЛУ-8-2</b> <u>Н.Н. Курапов, А.В. Тельнов, М.И. Хромяк</u>	<b>248</b>
<b>Секция 6 Актуальные вопросы ядерного нераспространения, безопасность и экология ядерной отрасли</b>	<b>250</b>
<b>SOME REMARKS TO RISK ASSESSMENTS OF NUCLEAR POWER PLANTS</b> <u>A.N. Valyaev, G.M. Aleksanyan, O.O Arkhipkin</u>	<b>252</b>
<b>ESTIMATION OF THE POSSIBILITY OF EXPOSED LONG-TERM CONSERVATION OF STRUCTURAL ELEMENTS MADE OF ZIRCONIUM ALLOY DURING THE DECOMMISSIONING OF URANIUM-GRAPHITE REACTORS</b> <u>A.O. Pavliuk, S.G. Kotlyarevsky, E.V. Bepala, A.M. Izmetiev</u>	<b>253</b>
<b>EXPERIMENTAL SIMULATION OF THE RADIONUCLIDE BEHAVIOR IN THE PROCESS OF CREATING ADDITIONAL SAFETY BARRIERS IN SOLID RADIOACTIVE WASTE REPOSITORIES CONTAINING IRRADIATED GRAPHITE</b> <u>A.O. Pavliuk, S.G. Kotlyarevsky, E.V. Bepala, A.M. Izmetiev</u>	<b>254</b>
<b>THE NEUTRONIC CALCULATION AND OPTIMIZATION OF SCHEMES OF STORAGE SPENT NUCLEAR FUEL</b> <u>M.N. Plevaka, K.A. Savasichev, S.V. Bedenko</u>	<b>255</b>
<b>CREATION OF AUTOMATED TRAINING SYSTEM OF CONTROL AND ACCOUNTING OF NUCLEAR MATERIALS</b> <u>A. Bashlai, A. Stepanova, A. Godovykh</u>	<b>255</b>

<b>THE APPLICATION OF IDENTIFICATION METHODS IN SECURITY SYSTEMS OF NUCLEAR FACILITIES</b>	
<u>A. Stepanova, A. Bashlai</u>	256
<b>ВЫБОР СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПО КРИТЕРИЮ «ЭФФЕКТИВНОСТЬ-СТОИМОСТЬ»</b>	
<u>Ю.Р. Абузарова</u>	257
<b>РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b>	
<u>Е.В. Артемов</u>	258
<b>КОНТРОЛЬ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ</b>	
<u>А.В. Бородач, Н.А. Невоструев, В.В. Дисюк, А.И. Карпенко</u>	259
<b>СОЗДАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕЙСТВИЙ НАРУШИТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «НАРУШИТЕЛЬ – СФЗ»</b>	
<u>А.В. Буковецкий, Б.П. Степанов</u>	260
<b>ТОПЛИВО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ, СНИЖЕНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ</b>	
<u>И.В. Васильков, И.И. Локтев</u>	261
<b>ВЛИЯНИЕ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ РАДИАЦИОННЫХ ПОРТАЛЬНЫХ МОНИТОРОВ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НАДЁЖНОСТЬ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ</b>	
<u>Е.А. Власенко, А.В. Дудкин</u>	262
<b>МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ГЕОХИМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ</b>	
<u>А.А. Гарапацкий</u>	263
<b>ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ПУЧКА ФОТОНОВ</b>	
<u>В.М. Головков</u>	264
<b>ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАБОРА ПАРАМЕТРОВ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА FRAM НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ</b>	
<u>Д.Ф. Гончаров</u>	265
<b>МЕТОДЫ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ</b>	
<u>В.В. Дисюк, А.И. Карпенко, Н.А. Невоструев</u>	266
<b>РОЛЬ И ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУРНЫХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ЯДЕРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ</b>	
<u>Н.П. Дронишинец, Н.А. Носырев, Г.С. Зиновьев</u>	267
<b>ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОРТАЛЬНЫХ МОНИТОРОВ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b>	
<u>А.В. Дудкин</u>	268
<b>ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ</b>	
<u>С.Р. Зинатулина</u>	269
<b>ПРОЦЕСС ОСТЕКЛОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ</b>	
<u>О.И. Катаева, Ю.В. Ластовец</u>	269
<b>ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ РАДОНООПАСНОСТИ В ЧЕШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ</b>	

<u>Ю. О. Ключникова</u> , Н. К. Рыжакова, К. О. Шилова	270
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОЛОКСИДАЦИИ</b> <u>И.А. Курский</u> , А.В. Васильев	271
<b>ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СФЗ</b> <u>Д. С. Леонович</u> , Б. П. Степанов	272
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RFID ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ</b> <u>А.А. Мерзляков</u> , А.В. Годовых	273
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ</b> <u>А.В. Никиенко</u> , А.В. Буковецкий	274
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГРАММЫ КАЛИБРОВКИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ LABSOCS</b> <u>Т.Г. Никишкин</u>	275
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА В УСЛОВИЯХ НЕСТАНДАРТНЫХ ПОСТУПЛЕНИЙ РАДИОНУКЛИДОВ</b> <u>А.В. Овчинников</u> , Д.Г. Демянюк, К.М. Измestьев	276
<b>ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНОВ ХРАНИЛИЩ ЖРО В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕ</b> <u>Е.А. Орешкин</u> , И.В. Щаманин, А.Г. Каренгин	277
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ САНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА НА ЯДЕРНЫЙ ОБЪЕКТ</b> <u>А.В. Паульс</u> , Б.П. Степанов	278
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ЯДЕРНОМ ОБЪЕКТЕ</b> <u>К.Е. Ревенко</u> , А.Е. Ревенко, А.В. Годовых	279
<b>ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАЧ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ТИПА БРЕСТ</b> Н.А. Серикова, Д.Г. Демянюк	280
<b>РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ МНОГОФАКТОРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ</b> <u>А.И. Ситдикова</u> , Д.Г. Демянюк	281
<b>ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЖИМА ЯДЕРНОГО НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО НИТРИДНОГО ТОПЛИВА</b> <u>А.А. Шевелева</u> , Б. П. Степанов	282
<b>ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ РАДИАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ</b> И.Н. Шейно, М.И. Грачев, <u>П.В. Ижевский</u>	283
<b>АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНИЦИАТИВЫ МАГАТЭ ПО СИНЕРГИИ 3S</b> <u>П.А. Пушенко</u> , Д.А. Седнев	283
<b>УПРАВЛЕНИЕ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ В УНИВЕРСИТЕТАХ. ПРИМЕР НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА</b>	

<u>М.В. Перминова, Д.Г. Демянюк</u>	284
<b>Секция 7 Информационные системы, автоматизация и системы управления</b>	<b>286</b>
<b>ORGANIC LIGHT-EMMITING DIODES (OLED)</b> <u>M.O. Blank, N.E. Bataeva, D.O. Tivikova, U.A. Smirnova</u>	287
<b>VULNERABILITIES OF WIRELESS NETWORKS AND EXISTING THREATS</b> L.E. Bulygin, P.V. Gunov, M.E. Semenov	288
<b>ACOUSTIC CONTROL SYSTEM IN MEDICINE</b> <u>N.I. Karagodin, I.I. Shadrin, M.S. Stulin</u>	289
<b>SIMPLE PHYSICAL MODELS IN PRACTICAL APPLICATIONS FOR NEW ENGINEERING TASKS</b> <u>V. Mikhaylov, V. Kushpil, S. Kushpil, S.N. Liventsov</u>	290
<b>THE RESEARCH OF CONTACT IMAGE SENSON FOR USE AS A HIGH-PRECISION MEASURING ELEMENT</b> <u>V.V. Opolsky, Y.A. Chursin, A.V. Tsepilova</u>	291
<b>THE DEVELOPMENT OF A LIBRARY FOR TECHNOLOGICAL PROCESS TRENDING IN QT</b> <u>E. P. Shutova, Yu. A. Chursin</u>	292
<b>ПРОЕКТ «ГОВОРЯЩИЙ ЗАМОК»</b> <u>Э. Е. Акулов, А.А. Серенко, А.К. Фомичев, И.В. Кыштымков</u>	292
<b>ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА АСУ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ТОКАМАКА Т-15</b> <u>П.С. Анистратов, Ю.Н. Голобоков, В.М. Павлов</u>	293
<b>УЧЕБНЫЙ СТЕНД – ТРЕНАЖЕР, МОДЕЛИРУЮЩИЙ СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОТРАНСПОРТОМ</b> Т.Х. Бадретдинов	295
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ</b> <u>Н.Е. Батаева, А.В. Кретов, М.О. Бланк</u>	296
<b>РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИНИ-ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ</b> <u>Батаева Н.Е., Денисевич А. А.</u>	297
<b>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПРОБЫ</b> <u>М.О. Бланк, С.Н. Ливенцов, Ф.Э. Гофман</u>	298
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПУЛЬТА ОБЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТОКАМАКА КТМ</b> А.Е. Богданов	299
<b>РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ ВВОДА/ВЫВОДА ДИСКРЕТНЫХ И АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ</b> <u>А.А. Булавинов, А.В. Обходский, В.А. Кудрявцев</u>	300
<b>СИНТЕЗ ОДНОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЁМКОСТНЫМ ОБЪЕКТОМ С САМОВЫРАВНИВАНИЕМ</b>	

В.Г. Васильев, В.Ф. Дядик	301
<b>АНАЛИЗ УРАНА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОТОКЕ</b> А. А. Веригин, Е.О. Маджара., А.И. Наумик	302
<b>МЕТОДЫ АНАЛИЗА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОЦЕНКА ИХ ПРИМЕНИМОСТИ ДЛЯ АСУ ТП АТОМНОЙ ОТРАСЛИ</b> А.А. Вериго, А.С. Каташев	303
<b>РАЗРАБОТКА АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ПАНЕЛИ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ ТОКАМАКА КТМ</b> К.И. Виграненко, В.М. Павлов	304
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫПАРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА</b> К.А. Козин, Е.В. Ефремов, М.И. Грачев	305
<b>СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДЕСУБЛИМАЦИИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА</b> А. П. Маркелова, А.В. Вильнина, С.Н. Ливенцов	306
<b>ФОРМАТ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ</b> А.А. Губарь, А.В. Обходский, В.А. Кудрявцев	307
<b>РАЗРАБОТКА САЙТА КАФЕДРЫ ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК</b> Е.Е. Гусева, В.А. Кудрявцев	307
<b>ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ С ЗАДАННЫМИ СТАТИСТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ</b> А.Р. Дон, В.М. Павлов	308
<b>МОДУЛЬ АНАЛОГОВОГО ВЫВОДА</b> И. А. Журавлев	309
<b>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ</b> А.М. Захаров, А.В. Обходский	310
<b>РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БЛОКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЭКСТРАКТОРОВ, ЭКСТРАКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ РУ БРЕСТ-ОД-300</b> Е.П. Зеленецкая, А.Г. Горюнов, О.В. Шмидт, Е.Г. Пузиков	311
<b>НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БУФЕРНОЙ ЕМКОСТЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ</b> К.А. Иванов, А.Г. Горюнов	312
<b>РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ</b> С.А. Ильиных, В.М. Павлов, С.В. Меркулов	312
<b>РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ГРАДУИРОВКИ РАСХОДОМЕРОВ И ИССЛЕДОВАНИЯ САУ РАСХОДОМ ВОЗДУХА</b> Н.Б. Гурова, Е.С. Китаева., А.А. Денисевич	313

<b>ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ УРОВНЯ</b> <u>А.В. Клименко</u> , М.С. Стулин	<b>314</b>
<b>РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК»</b> Л. Д Кожуховская, А. А. Денисевич	<b>315</b>
<b>«МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК»</b> Л. Д Кожуховская, А. А. Денисевич	<b>315</b>
<b>УМНЫЙ ДОМ ЗА 10\$</b> <u>Я. А. Кондрашев</u> , В.А. Курочкин	<b>316</b>
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА РАСТВОРОВ СОЛЕЙ ТОКАМИ ДО 100КГЦ</b> <u>В.А. Курочкин</u>	<b>317</b>
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА, МОДЕЛИРУЮЩЕГО ПРОЦЕССЫ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА</b> <u>К.В. Ларина</u> , Ю.А. Чурсин, А.И. Гожимов	<b>318</b>
<b>ЛИНЕАРИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ МАГНИТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЛАЗМОЙ В ТОКАМАКЕ</b> <u>А.М. Ли</u> , В.М. Павлов	<b>319</b>
<b>СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЛОННОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ НА БАЗЕ МРС</b> <u>А.О. Маковеев</u> , И.С. Надеждин, С.Н. Ливенцов	<b>320</b>
<b>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ</b> К.А. Мамаев, А.В. Обходский	<b>320</b>
<b>АЛГОРИТМ УСРЕДНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДЕСУБЛИМАЦИИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА</b> <u>А. П. Маркелова</u> , А.В. Вильнина, С.Н. Ливенцов	<b>321</b>
<b>РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИСТОЧНИКА ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО СОЛЕНОИДА ТОКАМАКА КТМ</b> <u>И.И. Матаннанов</u> , Д.Б. Зарва, В.М. Павлов	<b>322</b>
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ БЮДЖЕТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ</b> <u>С.А. Митяев</u> , В.А. Курочкин	<b>323</b>
<b>НЕЧЕТКАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМ ОБЪЕКТОМ</b> <u>И.С. Надеждин</u> , А.Г. Горюнов, К.А. Козин, Ф. Маненти	<b>324</b>
<b>ПАССИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ</b> <u>И.С. Надеждин</u> , А.Г. Горюнов, В.Ф. Дядик, Ф. Маненти	<b>325</b>
<b>АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ ДЕСУБЛИМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА</b> <u>А.В. Николаев</u> , Н.С. Криницын, В.Ф. Дядик	<b>326</b>

<b>РЕАЛИЗАЦИЯ СТЕКА ПРОТОКОЛОВ ТСР/Р С НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С ЯДРОМ Cortex-M4 ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ</b> <u>Р.А. Нурмухаметов, Ю.А Чурсин</u>	<b>327</b>
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВЫХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ КАМЕР</b> <u>А.Х. Оздиев, Д.А. Карпов</u>	<b>328</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НИТРАТА УРАНИЛА В ЛИНЕЙНОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SIMSAR</b> <u>А.И. Гожимов, Ю.А Чурсин, А.О. Очоа Бикэ, О.В. Шмидт</u>	<b>329</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПАРНОГО АППАРАТА</b> <u>А.А. Полосин, С.Н. Ливенцов, Е.В. Ефремов, П.П. Локтюшин</u>	<b>330</b>
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СИСТЕМЫ «ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»</b> <u>А.Н. Пушинская, Т.С. Черняева, Ю.А. Чурсин</u>	<b>331</b>
<b>ДИНАМИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АППАРАТА ГИДРОФТОРИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА</b> <u>О.П. Савитский, В.Ф. Дядик</u>	<b>332</b>
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОРМАТА ФАЙЛА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ</b> <u>А.А. Соломыкин</u>	<b>333</b>
<b>РАЗРАБОТКА СТЕНДОВ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»</b> <u>А. А. Термер, А. В. Чубукин., А. А. Денисевич</u>	<b>334</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕСОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК В СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ</b> <u>Д.С. Фёдоров, А.О. Плетнёв, А.А. Денисевич</u>	<b>335</b>
<b>ИСПЫТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ рН, УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ И ИОНОВ АММОНИЯ ФИРМЫ WTW</b> <u>А.Л. Хуснулина, Д.Ю. Колоколов, Л.Р. Меринова</u>	<b>335</b>
<b>РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СИСТЕМЫ «ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»</b> <u>Т.С. Черняева, А.Н. Пушинская, Ю.А. Чурсин</u>	<b>336</b>
<b>РАЗРАБОТКА ПРОТОКОЛА И ФОРМАТА ДАННЫХ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ</b> <u>Д.М. Шумаев, А.В. Обходский</u>	<b>337</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СТАНДАРТОВ СВЯЗИ</b> <u>И.Д. Щербаков, В.А. Курочкин</u>	<b>338</b>

---

# Секция 1

---

Физико-энергетические и  
электрофизические  
установки

## ALTERNATIVE SOURCES OF ELECTRIC ENERGY: WIND GENERATOR

Y.Y.An

Tomsk Polytechnic University,  
Russia, Tomsk, Lenina ave., 30, 634050  
E-mail: [julianankz552@gmail.com](mailto:julianankz552@gmail.com)

Nowadays more and more attention is paid to conservation of natural resources and environmental protection. Humanity needs alternative sources of energy that are both environmentally friendly and cheap.

The objective of the study is to compare the existing modified models of the wind generator.

The following tasks were set:

1. To investigate the basic methods of generating electrical energy.
2. To study the operating principles of the wind generator.
3. To consider the widely known models of wind generators.
4. To compare the widely known models with wind generators.

Thus, if we can create affordable, cheap, environmentally friendly energy storage, we will obtain cost-effective wind generators.

Nowadays there are several alternative methods of generating electricity, but all of them are far from being perfect. The wind generator has many advantages, although fuel generators are still most common. They have increased wear and high fuel consumption, they also produce harmful emissions and their production is expensive. It's known that non-renewable reserves of energy sources (oil, gas) are exhausted. Although coal reserves will be sufficient for some more time, the power plants working on coal are environmentally unfriendly. They emit CO<sub>2</sub>, CO and carbon dust into the atmosphere. It's obvious that new sources of energy are required. Wind power plant converts the kinetic energy of wind into mechanical and electrical energy. This plant is convenient for practical use.

Having made several attempts to create the wind generator and studied theoretical background of the new sources of energy, we have come to the conclusion that the obtained energy could be used in practice, but it requires a relatively large size of the valve. Taking into account all these facts and also the complexity of mechanical structures, some processes had to be simulated. Similar calculations can be made for the entire structure. If  $\beta = 1 \text{ kg / m}$ ,  $r = 2\text{m}$ ,  $v = 5 \text{ m / s}$ ,  $N = 750 \text{ watts}$ . And if the speed of wind increases up to  $10 \text{ m / s}$ , the output power will be  $6280 \text{ W}$ , which is acceptable for practical application.

If a big wind generator with  $r = 5 \text{ m}$  is installed in windy weather, the plant capacity increases to  $50,000 \text{ watts}$ , while in calm weather it reaches  $2.5 \text{ kW}$ .

### REFERENCES

1. Wind generator with his own hands [electronic resource]: <http://e-veterok.ru/samodelniy-vetrogenerator.100watt.php>
2. Wind generators [electronic resource]: <http://www.vetrogenerator.ru/index.html?#>

## PROBLEMS OF EXPLORATION OF STEAM GENERATORS IN NUCLEAR POWER PLANT

E. Bondarenko, I. Lomov, Y. Ermakova  
Tomsk Polytechnic University,  
Tomsk, Russian Federation, Lenin Avenue, 30, 634050  
E-mail: [evgeney345@yandex.ru](mailto:evgeney345@yandex.ru).

One of the important elements of NPP (Nuclear Power Plant) with reactors with pressurized water of VVER and PWR type is a steam generator (SG), which generates steam for the turbine generator and production of electricity.

Currently in NPP with VVER, SG like PGW-440 and PGW-1000 are used. Their construction, in comparison with the project design has undergone changes and modifications during the operation. The process of improving SG, which are in operation, continues. This is due to the need to extend the life of existing plants (steam generators of PGW-440 type at a number of nuclear power plants are currently in operation beyond the project life of 30 years). At the same time, ways to increase the power (efficiency) as well to reduce the size of SG for easy transportation and installation are constantly studied.

The purpose of this work is to identify and consider the problems arising during the operation of steam generators.

The objective of this research work is to consider the issues related to:

- extending the life of existing and planned facilities;
- increasing the power of a steam unit;
- reducing the size of the steam generators and as a consequence the simplification of transportation;
- increasing in the level of water chemical regime;
- the problem of corrosion.

It should be noted that starting from the first projects of steam generators, increasing of their power was held with the help of reducing the size of pipes (21x1,5 in the first projects and 16x1,5 in PGW-1000M) and increasing in their number (from 2074 to 10978 tubes). To reduce the size of SG, it is required to put as much as possible of heat exchanger tubes in the unit.

In the work, two options of heat exchanger bundle for reducing the size of the steam generator are offered:

- with pipes 16x1,5 mm and steps 24x20 mm;
- with pipes 15x1,4 mm and steps 24x20 mm.

Design of SG in NPP with VVER has great potential in terms of improving the reliability service life and reducing maintenance costs. In view of the increasing demands of the water chemical regime and conducting necessary research and development work, the goal for new SG projects with life of 50-60 years was set. Key design decisions of horizontal SG can be used for new power capacity to 1600 MW, which are competitive in the global energy market.

The main direction of work on improving the reliability and performance of the SG in operation and units under development is to provide water chemical regime requirements at the level no worse than achieved at the world level. Also, promising is the direction the main objective of which is the optimum change in size and number of heat exchanger tubes, which will reduce the size of steam unit and improve its operating parameters. Besides, the choice of construction materials, with the highest corrosion resistance, plays an important role in the reliable operation of the steam generator.

#### REFERENCES

1. D.A. Lahov. Horizontal steam generator. The problem of increasing power and possible solutions. FSUE OKB "Hydropress", Podolsk.
2. Seamless pipes made of corrosion-resistant steel with high surface quality. Technical conditions. TU 14-3R-197-2001.
3. Gorbunov V.I. Hydrodynamics of two-phase flows in special environments NPP: Textbook for the course "Hydrodynamics of two-phase flow" / Ed. V.M.Zorina - M.: Publishing MEI, with 1999.120 p.
4. N.Trunov, S.Davidenko, V.Grigoriev, V.Popadchuk, S.Brykov, G.Karzov. WWER steam generators tubing performance and aging management. Proceedings of PLIM+PLEX conference, Paris, 2006.

5. Brykov S.I., Banyuk G.F., Trunov N.B., Y.V. Kharitonov, Susakin S.N., N.N. Davidenko The role of water chemistry in resource management VVER steam generators. Conference Proceedings VANO-IAEA. Optimization of operation GHG Nuclear Plants, Kuznetsovsk, 11-14 June 2002.
6. Titov, V.F. Expert Meeting IAEA WWR steam generators. Nuclear energy, 1997, t.83, vol. 1, pp. 74-75.
7. S.A. Logvinov et al. Thermohydraulics of PGV-4 Water Volume During Damage of the Feedwater Collector Nozzles Proceedings of third international seminar on horizontal steam generators. Lappeenranta, Finland. 1995. p.p. 33-48.
8. Trunov N.B. and others. The past and the future horizontal steam generators. FSUE OKB "Hydropress", Podolsk.

## FORMATION OF HIGH POWER MICROWAVE PULSES WITH ADJUSTABLE PARAMETERS IN RF COMPRESSION SYSTEMS

S.A. Gorev, V.S. Igumnov

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina ave., 30, 634050

E-mail: igumnov@tpu.ru

Presented the results of theoretical and experimental studies of the formation of microwave pulses with the adjustable power, duration, repetition rate and the envelope form during energy output from the cavity by controlled transformation of the oscillation mode at the waveguide stub coupling aperture [1]. Pulse parameters are changed by adjustable elements of the coupling of modes, which directly affect to the coefficient of the coupling of modes  $h$ . In this work the possibility to form a series of subnanosecond duration MW pulses at a fractional energy output and nanosecond pulses of various lengths at a single complete output of high frequency energy from the compressor cavity are demonstrated. The shape of the pulses is calculated through the recurrence relations between the amplitudes of waves in the system, the relations between which have been recorded according to the scattering matrix method.

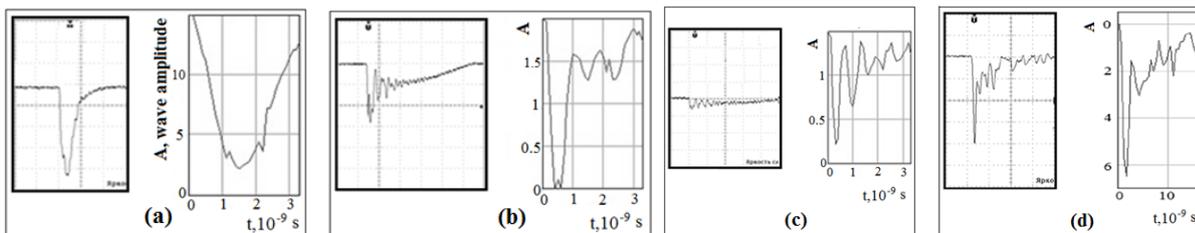


Figure 1. Comparative analysis of the calculated and experimental output pulse envelopes at  $h = 0.9$  and a different electrical length of the stub  $\varphi$ : a)  $\varphi = 0$ ; b)  $\varphi = 1$ ; c)  $\varphi = 2$ ; d) subnanosecond length pulse,  $h = 0.9$ ,  $\varphi = 0$ . Time scanning in the oscillograms is 10ns per division.

Figures 1a-1d show comparative analyses of the calculated and experimental output pulse envelopes generated in the compressor with the coefficient of the coupling of modes  $h = 0.9$  and the electrical length of the stub  $\varphi$  variable within the range  $0 \dots \pi$ . Fig. 1d shows the possibility of formation of subnanosecond duration MW pulses by applying the studied method. Using the coupling element stack, we therefore can generate a series of pulses with a high repetition rate in the range of the excitation pulse. Pulses with a duration of 8-10 nanoseconds, working frequency 9.248 GHz, were obtained by experiment in the X-band MW pulse compressor. The gain of this compressor is 8-9 dB.

The work was performed as part of the "Science" state order of the Russian Ministry of Education and Science.

## REFERENCES

1. Igunnov V., Avgustinovich V., Artemenko S., Novikov S., Yushkov Yu.. Formation of Pulses with Controlled Parameters in a Resonance Microwave Compressor Employing Oscillation Mode Transformation // Technical Physics Letters, 2013, Vol.39, №9, pp. 755-757.

## WIND GENERATORS

A.S.Kravets

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina str., 30, 634050

E-mail: [savasko-sasha@mail.ru](mailto:savasko-sasha@mail.ru)

A wind turbine is a popular name for a device that converts kinetic energy from the wind into electrical power. Technically there is no turbine used in the design but the term appears to have migrated from parallel hydroelectric technology. The correct description for this type of machine would be aerofoil-powered generator.

Strictly speaking wind generator can be made from a few magnets, coils of wire and a piece of plywood for the blades. Fully working wind generator will not do without the following components:

- The rotor; blades; wind turbine; tail, orienting the rotor against the wind
- Generator
- The mast with stretch marks
- Charge controller
- Batteries
- Inverter

$$P = 0.5 \cdot \xi \cdot S \cdot v^3 \cdot \rho \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген}$$

For a rough calculation of wind turbine power different formulas can be used but it is better to use the following: here  $\xi$  - is the coefficient of wind use (WEUC),  $S$  - working area of the wind turbine,  $v$  - the speed of the incoming flow,  $\rho$  - flux density,  $\eta_{gm}$  - the efficiency of the gear unit / multiplier,  $\eta_{ген}$  - the efficiency of the generator.

In calculations it is necessary to take into account different WEUC values for different types of generators. Vertical wind turbine WEUC can reach about 0.4-0.5, and it does not exceed 0.3 for wind turbines with a horizontal rotation axis.

The obtained electrical energy is not ready to use yet: recorded directly from the generator electric energy will vary depending on the wind speed. To make a usable energy it is necessary to accumulate energy so that it can be converted subsequently for certain tasks. To solve this problem the so-called "buffer", a battery that stores energy and a charge controller which is necessary for the proper battery charge is applied.

## REFERENCES

1. Wind generator -- Wikipedia [Electronic resource]. – Access mode: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine). – 23.04.15.
2. Wind generators [Electronic resource]. – Access mode: <http://svetdv.ru/veter/index.shtml>.

### CONSERVATION OF ENERGY

M. Matvienko, E. Lykov

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina str., 30, 634050

E-mail: [matvienkomixail@yandex.ru](mailto:matvienkomixail@yandex.ru)

Conservation of energy states that the total amount of energy in an isolated system remains constant. In thermodynamics, the first law of thermodynamics is a statement of the conservation of energy for thermodynamic systems.

The energy conservation law is a mathematical consequence of the shift symmetry of time; energy conservation is implied by the empirical fact that physical laws remain the same over time.

Ancient philosophers as far back as Thales of Miletus had inklings of the conservation of some underlying substance of which everything is made. However, there is no particular reason to identify this with what we know today as "mass-energy" (for example, Thales thought it was water).

Ancient philosophers as far back as Thales of Miletus had inklings of the conservation of some underlying substance of which everything is made. However, there is no particular reason to identify this with what we know today as "mass-energy" (for example, Thales thought it was water).

With the discovery of special relativity by Albert Einstein, it was found that energy is one component of an energy-momentum 4-vector.

In quantum mechanics, energy is defined as proportional to the time derivative of the wave function.

### RESEARCH OF NUCLIDE KINETICS FOR REACTOR FUEL

Duy Ha Phung, M.N. Anikin, A.G. Naymushin

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk city, Lenina Ave., 30, 634050

E-mail: [phungduyha@gmail.com](mailto:phungduyha@gmail.com)

During the operating time of nuclear reactor, there are a lot of nuclides with the different physical properties generated as fission products. Among these nuclides, there are some isotopes which have special characteristics and strong absorb neutron that affect to the physical properties of fuel assemblies. The investigation of the burnup processes that happen inside the reactor, especially the transmutation of  $U^{235}$  as well as other nuclides that formed in reactor is very important. By understanding this, the plant could be operated safety, prolonged the life time of reactor and reduced the nuclear wastes. [1]

This paper will present the research results of the nuclides transformation in fuel assemblies at the Tomsk research reactor [2] based on MCU Monte Carlo calculations [3].

In operating mode of reactor, the concentration of  $U^{235}$  will decrease by the burning-up process. But there are a lot of new nuclides formed as reaction products. To determine which nuclides significantly affecting to fuel assembly properties, it must be calculated the contribution of every individual isotope to the general absorbed reaction rate. There are 20 isotopes with the highest impact on the neutron-physical properties of fuel assemblies chosen to be researched:  $U^{235}$ ,  $Xe^{135}$ ,  $Nd^{143}$ ,  $Sm^{149}$ ,  $U^{236}$ ,  $U^{238}$ ,  $Pu^{239}$ ,  $Rh^{103}$ ,  $Pm^{147}$ ,  $Cs^{133}$ ,  $Xe^{131}$ ,  $Sm^{151}$ ,  $U^{234}$ ,  $Tc^{99}$ ,  $Sm^{152}$ ,  $Nd^{145}$ ,  $Pm^{148m}$ ,  $Sm^{150}$ ,  $Eu^{153}$ ,  $Np^{237}$ ,  $Pu^{240}$  and  $Mo^{95}$ .

Due to the calculations, the discrete concentration values for those isotopes had been received. By using the linear interpolation method to show the mathematical forms of every single isotope [4], the transmuted rules of above nuclides will be

changed differently. For example, the concentration of  $U^{235}$  after 20 days of operating time will change by the linear function,  $Np^{237}$  change by a quadratic mathematical one, meanwhile  $Sm^{149}$  and  $Pu^{239}$  transform with the completely complex forms.

The reason causes this phenomenon is that some of those nuclides are not only reaction products that generated after a period of operating time of reactor, they are also a fissile isotope and decays by time. All of these factors contribute to the burnup process. Otherwise the others,  $U^{235}$ , are only fissile isotope and are not a product of any reaction and get the more simple mathematical equations.

According to the calculated data, the experiments have been done with the periods of time 20 and 50 days, respectively, are more accurate, their deviations are less than 1%. Additionally, the optimal period of time for measuring – 50 days because the absolute deviation corresponding to this time is lowest when compare to all of the others. Comparing the 8-tubes assembly to 6-tubes assembly, the absolute deviations for  $Pu^{239}$ ,  $Pu^{240}$  and  $Np^{237}$  are more than 7%. For the rest, the absolute differences will be less than 3%.

#### REFERENCES

1. Uranium Enrichment, [Electronic source]. URL: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Conversion-Enrichment-and-Fabrication/Uranium-Enrichment/>. – 23.04.2015
2. V. A. Varlachev, G.G. Glukhov, V.S. Skuridin, Research nuclear reactor IRT-T, Tomsk Polytechnic University (in Russian), 2011.
3. N. I. Alekseev, E. A. Gomin, MCU-PTR Program for High-Precision Calculation of Pool and Type Research Reactors, Atomic En., 109/3 (2011) 149-156.
4. Jan Dufek, Development of New Monte Carlo Methods in Reactor Physics, Doctoral thesis, Royal Institute of Technology, 2009, p. 34.

#### ФОРМИРОВАНИЕ ЭМИ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СВЧ ИМПУЛЬСОВ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ СИСТЕМЕ

Б.А. Алексеев, П.Ю. Чумерин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [chumerinpy@tpu.ru](mailto:chumerinpy@tpu.ru)

В настоящей работе представлены результаты исследования процессов формирования электромагнитного излучения (ЭМИ) наносекундной длительности в устройстве, работа которого основана на принципах преобразования многочастотных сигналов с помощью резонансных систем с эквидистантным распределением резонансных частот. Актуальность данного исследования обусловлена возрастающим интересом к использованию СВЧ-энергии в технологических целях, решении экологических задач, в ускорительной и лазерной технике. Применение различных методов преобразования импульсов СВЧ в резонансных структурах позволяет увеличить мощность источников ЭМИ путем сокращения его длительности без изменения энергетических характеристик самого генератора. Это обеспечивает таким приборам ряд преимуществ, обусловленных меньшими габаритными размерами, потребляемой мощности от сети питания. Проблема, которая ограничивает использование таких приборов, связана с отсутствием промышленных СВЧ коммутаторов.

Задача, решаемая исследованиями, является разработка способов создания источников ЭМИ наносекундной длительности с использованием методов преобразования энергии с помощью резонансных систем без применения коммутирующих элементов.

Для исследования процессов формирования импульсов использовалась схема мультиплексора на основе резонаторов бегущей волны. Методом матриц рассеяния получены выражения, которые описывают

переходный процесс формирования импульсов на выходе системы, в зависимости от частотной растройки и длительности импульса генераторов, коэффициентов связи резонатора с трактом возбуждения и нагрузкой, и потерями в резонансной системе при произвольном количестве генераторов. Показано что  $N$  генераторов, имеющих одинаковые мощности и общую начальную фазу генерируемых колебаний, сдвинутых друг относительно друга на равные интервалы частот ( $\Delta f$ ) и включенных на общую нагрузку через проходные резонаторы бегущей волны, каждый из которых имеет резонанс на частоте питающего его генератора, обеспечивают:

- в установившемся режиме возбуждения резонаторов формирование последовательности импульсов длительностью  $1/N \cdot \Delta f$ . Несущая частота импульсов  $f_{cp} = (f_n - f_1)/2$ , период повторения равен  $1/\Delta f$ , а мощность, почти в  $N^2$  раз, больше, чем установленная мощность каждого из генераторов. Здесь  $f_1$ ,  $f_n$  - несущие частоты первого и  $n$ -го генераторов соответственно;
- при отключении генераторов, за счет использования запасенной энергии, максимальная пиковая мощность последнего импульса последовательности может быть увеличена до (1.2-1.3)  $N^2$  раз.

## ВЛИЯНИЕ НУКЛИДНОГО СОСТАВА ТОПЛИВНОЙ ЗАГРУЗКИ НА РАЗМНОЖАЮЩИЕ И ВОСПРОИЗВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ КЛТ-40С

Д.Ф. Байбаков, А.В. Годовых, В.Н. Нестеров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [bibimoogle@gmail.com](mailto:bibimoogle@gmail.com)

Для отдалённых регионов Российской Федерации необходимо энергообеспечение, которое сейчас базируется на органическом топливе, что связано с большими затратами и экологическим ущербом. Оценки показывают, что для энергообеспечения труднодоступных районов разумную альтернативу представляет ядерная энергетика [1, 2]. РУ КЛТ-40С входит в состав плавучего энергетического блока атомной теплоэлектростанции малой мощности, предназначенной для снабжения таких районов тепловой и электрической энергией. Одним из важных для экономичности показателей является время работы до перегрузки топлива, которое, отчасти, характеризуется коэффициентами размножения ( $k_{эф}$ ) и воспроизводства ( $KB$ ). В данной работе представлена зависимость  $k_{эф}$  и  $KB$  на начало кампании от нуклидного состава топлива и процентного содержания делящегося нуклида.

Оценка проводилась на основе спектра потока нейтронов, для определения которого проводился итерационный процесс при решении 26-групповой системы уравнений диффузии нейтронов с учётом поправок на температуру и резонансную самоэкранировку [3, 4]. Получены результаты, характеризующие влияние нуклидного состава топливных композиций и содержания делящегося нуклида на размножающие и воспроизводящие свойства активной зоны КЛТ-40С на начало кампании.

Определено, что с точки зрения эффективного коэффициента размножения при содержании делящегося изотопа свыше 5 % по массе наилучший результат у композиции  $^{232}\text{Th}+^{233}\text{U}$ , до 5 % – у композиции  $^{238}\text{U}+^{239}\text{Pu}$ , с точки зрения коэффициента воспроизводства при содержании делящегося изотопа свыше 10 % наилучший результат у композиции  $^{238}\text{U}+^{235}\text{U}$ , до 15 % – у композиции  $^{232}\text{Th}+^{235}\text{U}$ . Представлены зависимости  $k_{эф}$  и  $KB$  от содержания делящегося нуклида. Показано, что оптимальной по размножающим и воспроизводящим свойствам является композиция  $^{232}\text{Th}+^{233}\text{U}$  с содержанием нуклида  $^{233}\text{U}$  от 5 до 15 % по массе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драгунов Ю.Г., Шишкин В.А., Гречко Г.И., Гольцов Е.Н. Малая ядерная энергетика: задачи и ответы. // Атомная энергия. – 2011. – Т. 111. № 5. – С. 294–297.
2. Андреева-Андриевская Л.Н., Кузнецов В.П. Транспортабельные ядерные энергетические установки в международном проекте ИНПРО. // Атомная энергия. – 2011. – Т. 111. № 5. – С. 273–276.
3. Головацкий А.В., Нестеров В.Н., Шаманин И.В. Организация итерационного процесса при численном восстановлении спектра нейтронов в размножающей системе с графитовым замедлителем // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2010. – Т. 53. № 11. – С. 10–14.
4. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: Учебное пособие для вузов / Бартоломей Г.Г., Бать Г.А., Байбаков В.Д., Алтухов М.С.; Под ред. Батя Г.А. – М.: Энергоиздат, 1982. – 511с.

### ТОРИЕВОЕ ТОПЛИВО В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ

Беденко С.В., Шаманин И.В., Чертков Ю.Б.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [bedenko@tpu.ru](mailto:bedenko@tpu.ru)

Среди концепций реакторных установок нового поколения особое место занимают перспективные ядерно-энергетические установки (ЯЭУ) малой мощности, работающие на ториевом топливе. Ториевые реакторные установки в отличие от урановых обладают большим сроком кампании топлива и могут работать без перезагрузки до 15 лет.

На сегодняшний день существует большое количество проектов использования тория в качестве топлива. Среди успешных примеров эксплуатации ЯЭУ с использованием топлива на базе тория [1,2], выделяется высокотемпературная реакторная установка с гелиевым теплоносителем.

Цель исследования: разработка концепции маломощной ториевой высокотемпературной реакторной установки.

Осуществление концепции маломощной ториевой высокотемпературной установки предполагает, что при ее реализации будут приняты во внимание все новые знания, полученные в области реакторостроения и в физике нейтронов, в частности.

Концепция ториевой высокотемпературной реакторной установки основана на исследованиях и научно-технических решениях, полученных в рамках двух Гос. контрактов. (Гос. контракт № П777, от 3 августа 2010г., Гос. контракт № П428 от 2009 г., Соглашение № 14.В37.21.0473 от 3 августа 2012 г.).

В работе проведены исследования и численные эксперименты по обоснованию возможности использования торийсодержащих материалов в высокотемпературной реакторной установке малой мощности с длительным временем работы без перегрузки.

Осуществлен выбор оптимального варианта концепции ториевого ЯТЦ ориентированного на малую атомную энергетику и создание мобильных ЯЭУ мощностью до 60 МВт.

Оптимизированы геометрические характеристики и материалы ТВЭЛ маломощной ториевой высокотемпературной реакторной установки.

Найдены оптимальные конфигурации и оптимальные сочетания материалов ТВЭЛ и топлив, обеспечивающих максимальные длительности кампаний ториевого ядерного топлива.

Исследование выполнено при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации. Конкурс на право получения стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам. Грант № СП-295.2015.2.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев-Степной Н.Н., Лунин Г.Л., Морозов А.Г. и др. Легководный ториевый реактор ВВЭР-Т // Атомная энергия. – 1998. – Т.85, №4. – С.263 – 277.
2. Shamanin I.V., Ukhov A.A., Rutten H. J., Haas K., Sherer W. The Use of (Th,U,Pu)O<sub>2</sub> Fuel in a Water Water Energy Reactor: Physics and Fuel Cycle Simulation by means of the V.S.O.P. Computer Code. – Forschungszentrum Julich, FZJ-ISR-IB-1/99, 1999. – 40 p.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДИФФУЗНО – ОТРАЖЕННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Е.К. Бурякова, И.В. Леонова, Л.И. Зыков, А.Н. Попов, А.П. Цацкин

ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр - ВНИИЭФ»

Россия, г. Саров Нижегородской области, пр. Мира 37, 607188

В настоящее время использование космических аппаратов получило широкое распространение во многих сферах деятельности человека. В этой связи возрастает вероятность столкновения космических аппаратов (КА) с различными объектами (метеориты, космический мусор), а также друг с другом. Для обеспечения решения задач в рамках отраслевых автоматизированных систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве, а также в интересах контроля космического пространства проводится локация космических объектов (КО). Наиболее точным способом определения траектории движения КА является лазерная локация, основную проблему которой представляет возможность регистрации диффузно-отраженного лазерного излучения (вероятность обнаружения сигнала).

В настоящей работе проведены расчеты возможности регистрации диффузно-отраженного лазерного излучения наземными техническими средствами отраженного от космического объекта (аппарата).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свиридов К.Н. Оптическая локация космического мусора, с.9 («Знание», 2006)
2. Чеботарев А. Осторожно, в космосе мусор. // Военный парад, сентябрь – октябрь, с.139 (1996)
3. Каплан С.А., Цытович В.Н. Плазменная астрофизика, с.230 («Наука», 1972)
4. Тупиков В.А. Аппаратура наблюдения земли. Разработки ФГУП «НПК «ГОИ им. С.И. Вавилова», (2010).
5. Старченко А.Н. «Исследование характеристик и метрологическое обеспечение аппаратуры измерения рассеянного лазерного излучения», диссертация, Санкт – Петербург, с.5-6, (1995).
6. Госсорг Ж. «Инфракрасная термография. Основы, техника, применение», с. 78, 288 («Мир»,1998).
7. Джемисон Д.Э. «Физика и техника инфракрасного излучения», с.639 (1999).

#### ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ НА ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ

А.С. Бусыгин, А.Г. Наймушин, М.Н. Аникин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [asbu26@gmail.com](mailto:asbu26@gmail.com)

Высокие потоки нейтронов могут быть достигнуты при высокой плотности энерговыделения в активной зоне, минимальном её объёме, максимальной мощности и при обеспечении способности поддерживать критичность в течение заданного времени.

В настоящей работе рассматривались различные конфигурации активной зоны, с меньшим количеством и более тесной компоновкой ТВС, описанных в таблице 1, с целью увеличения удельного тепловыделения, а, следовательно, и нейтронного потока в экспериментальном канале реактора ИРТ-Т[1].

Активные зоны с измененной конфигурацией сравнивались по следующим параметрам: поток тепловых нейтронов в ГЭК-4, поток быстрых нейтронов в ГЭК-4, запас реактивности, компенсирующая способность стержней, длительность кампании. Расчеты необходимых параметров были выполнены в программе сопровождения эксплуатации ИРТ-Т – TIGRIS[2].

Таблица 1 – Описание компоновок АЗ

№	Описание	кол-во ТВС
v00	Исходная компоновка АЗ, используемая в данное время на ИРТ-Т	20
v01	Замена 8ми ТВС в v00 на Ве-блоки. Добавление 2х ТВС вдали от ГЭК-4	14
v02	Замена 8ми ТВС в v00 на Ве-блоки. Добавление 2х ТВС вблизи от ГЭК-4	14
v03	Замена 8ми ТВС в v00 на Ве-блоки. Замена Ве-блоков в центре АЗ на ТВС	16
v04	Замена 2х Ве-блоков вблизи ГЭК-4 в v03 на ТВС	18
v05	Замена 2х ТВС в v04 на Ве-блоки	16
v06	Замена 2х ТВС вблизи в v03 ГЭК-4 на Ве-блоки	14

Наибольшее увеличение потока тепловых нейтронов (ТН) наблюдается в конфигурации v02, соответственно длительность кампании наименьшая. Также наблюдается наибольшее увеличение потоков быстрых нейтронов (БН) и уменьшение запаса реактивности реактора. Наиболее оптимальным вариантом является v06, где наблюдается увеличение потока тепловых нейтронов при относительно небольшом увеличении потока быстрых нейтронов. При этом количество ТВС было снижено с 20 до 16. Запас реактивности уменьшился на 3 %, а компенсирующая способность регулирующих и аварийных стержней [3] увеличивается на 10 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варлачев В.А., Глухов Г.Г., Скуридин В.С., Смиренский О.В. Исследовательский ядерный реактор ИРТ–Т. – Томск: Издательство ТПУ, 2011. – С. 6–58.
2. Щуровская М.В., Алферов В.П., Пинегин А.А., Хромов В.В. Разработка и верификация расчетной модели ИРТ МИФИ. – М.: Атомная энергия, 1996. Т.81. вып. 5. – С. 323–328.
3. Наймушин А. Г., Чертков Ю. Б., Елпашев С. Н., Лебедев И. И. Исследование распределения поля энерговыделения в реакторе ИРТ-Т при различном положении стержней регулирования // Известия ВУЗов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11–2. – С. 353–359.

#### ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА RBS НА УСТАНОВКЕ «МИКРОЗОНД»

К.С. Дудко, А.Д. Тумкин, И.А. Карпов, Д.А.Федотов

ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ

Россия, Саров, пр-т Мира 30, 607188

На базе электростатического перезарядного ускорителя ЭП-10 (РФЯЦ-ВНИИЭФ) создана установка «Микрозонд». На установке реализованы два метода микроструктурного элементного анализа: метод PIXE (рентгено - флуоресцентный анализ) и метод RBS (обратное Резерфордское рассеяние).

В настоящей работе описана установка «Микрозонд», измерительный канал метода RBS, а также представлены результаты микроструктурного элементного анализа алюминиевой фольги этим методом. Метод RBS основан на спектрометрии обратно рассеянных заряженных частиц. Микроструктурный элементный анализ образца проводится по энергетическому спектру упруго рассеянных ионов от ядер атомов образца на углы, близкие к 180°. Данный метод позволяет решать различные задачи материаловедения (анализ структур, элементного и изотопного состава, распределение элементов по поверхности и глубине образца, наличие дефектов структуры).

В качестве тестового образца была использована тонкая алюминиевая фольга толщиной 0,59 мкм. На рисунке проведён полученный RBS спектр обратно рассеянных протонов с энергией 3 МэВ от образца.

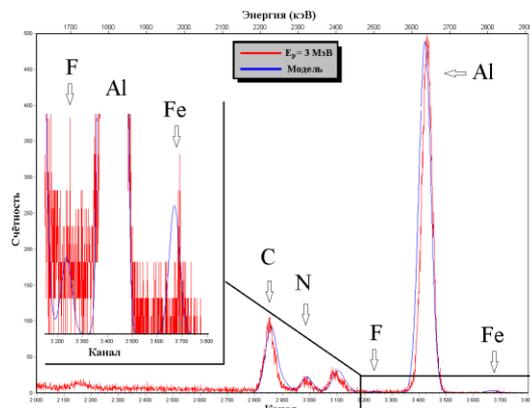


Рисунок 1. RBS спектр от алюминиевой фольги толщиной 0,59 мкм

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТОРИЕВОГО ТОПЛИВА В РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ

С.К. Дмитриев, И.И. Лебедев, А.Г. Наймушин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [dmitriev@sibmail.com](mailto:dmitriev@sibmail.com)

Разведанные запасы тория в земной коре в несколько раз превышают запасы урана, что, потенциально, существенно увеличивает сырьевую базу ядерной энергетики.

В настоящей работе было проведено моделирование различных топливных композиций с целью определения особенностей расчета в трёх различных программных средствах: 1) MCU, 2) WIMSD-5, 3) WIMS-ANL. Расчетная модель, представляет собой элементарную ячейку реактора ВВЭР-1000, обладающую граничными условиями трансляционной симметрии, с использованием различных топливных композиций: 1) штатное топливо ( $UO_2$ ), 2) уран-ториевое топливо, 3) ториевое топливо с оружейным плутонием, 4) ториевое топливо с энергетическим плутонием.

Был проведен расчет реактивности ядерного реактора при выгорании топлива с мощностью 250 Вт, выделяемой с одного сантиметра длины твэла. На рисунке 1 представлено изменение реактивности от времени рассчитанное в различных программных средствах для выбранных топливных композиций

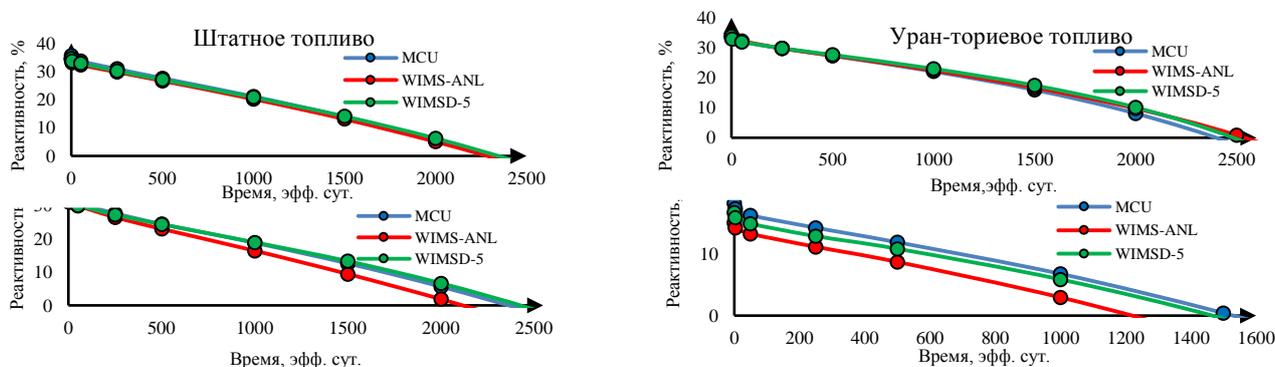


Рисунок 1. Изменение реактивности от времени для различных топливных композиций

Видно, что качественные зависимости изменения реактивности определяются достаточно точно, что позволяет использовать все 3 программы для первоначального расчета длины кампании при использовании различных топливных композиций.

Также можно заметить, что при увеличении доли альтернативных топливных элементов разница между точностью определения параметров возрастает. Таким образом, для проведения инженерных расчетов определения реактивности реактора и длины кампании можно использовать программные средства WIMSD-5 и WIMS-ANL, с последующим уточнением в прецизионной программе MCU наиболее приемлемых вариантов топливных композиций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаманин И.В. Преимущества ториевого топлива в реакторах на тепловых нейтронах // Труды VI Междунар. Научно-практической конференции «Физико-технические проблемы атомной науки, энергетики и промышленности». – Томск, 2014. – Т. 1. – С. 72.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО СИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ (ВВСВ)

Б.Е. Жоламанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [beka\\_1991@bk.ru](mailto:beka_1991@bk.ru)

Преимущество вакуумных выключателей (ВВ) доказаны многолетней практикой. Особенностью ВВ являются высокая электрическая прочность и высокая скорость восстановления электрической прочности после погасания дугового разряда (единицы и десятки микросекунд). Это свойство в некоторых режимах эксплуатации приводит к генерации перенапряжений, опасных для изоляции обмоток двигателей и трансформаторов. В настоящее время одним из эффективных способов устранения перенапряжений является применение вакуумного выключателя в режиме синхронизированной коммутации [1].

В данной работе приводятся результаты лабораторных исследований и испытаний ВВСВ типа EX-BB-10-20 производства ООО "Коммутационные, Электронные, Преобразовательные Системы" (КЭПС), г. Новосибирск по определению собственного времени включения (СВВ) и отключения (СВО) и их стабильности. Схема измерений приведена на рис. 1, а, полученные осциллограммы – на рис. 1,б

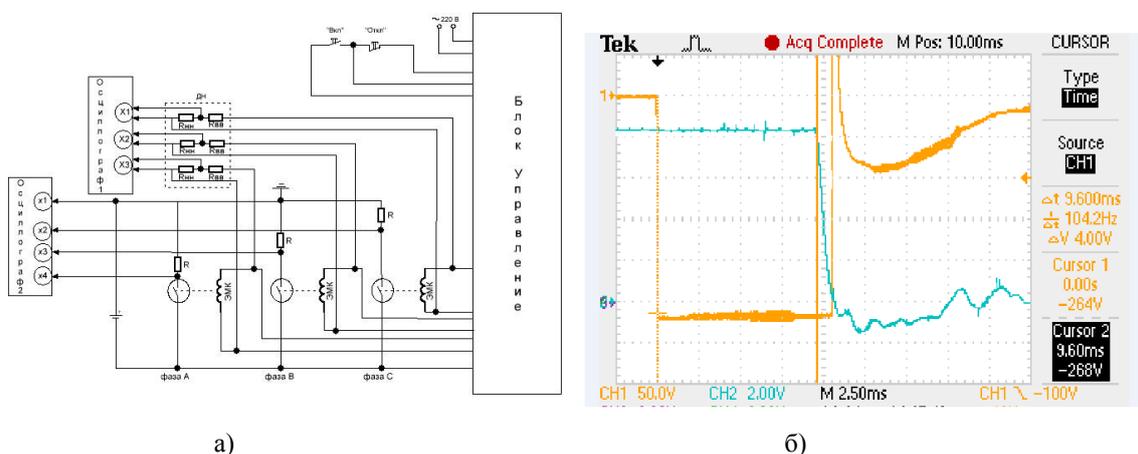


Рисунок 1. Схема измерение СВВ и СВО ВВСВ (а) и пример получаемых осциллограмм (б)

Результаты измерения СВВ и СВО показали, что СВВ составляет 26...28 мс со стабильностью  $\pm 0,12$  мс, а СВО – 8...9 мс  $\pm 0,04$  мс.

Проведенные предварительные испытания ВВСВ типа EX-BB-10-20 показали, что разброс времени срабатывания каждого отдельного полюса не превысил 0,12 мс, что обеспечивает уверенное включение и отключение каждого полюса в оптимальное время для данного состояния сети. Это позволит уменьшить коммутационные перенапряжения, увеличить отключающую способность за счет коммутации в конце полупериода отключаемого тока и увеличить ресурс выключателя за счет сокращения времени горения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохоренко Е.В., Лебедев И.А. Исследование возможности создания вакуумного выключателя для синхронного отключения ненагруженных трансформаторов// Электро 2010. № 3. С. 41-44.

## ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ РАЗЪЕДИТЕЛИ ДЛЯ СХЕМЫ ПО ВЕЙЛЯ - ДОБКЕ

Б.Е. Жоламанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Кирова, 4, 8-999-495-00-91

Е-mail: [beka\\_1991@bk.ru](mailto:beka_1991@bk.ru)

В ТПУ создана установка синтетических испытаний выключателей по схеме Вейля –Добке [1]. Синтетическая схема имеет отдельные источники тока и напряжения. Источниками тока и напряжения служат колебательные контуры генератора тока короткого замыкания (ГИТ) и генератора формирующего переходное восстанавливающееся напряжение на контактах, отключающих ток короткого замыкания (ГИН). Упрощённая электрическая схема установки приведена на рис. 1.

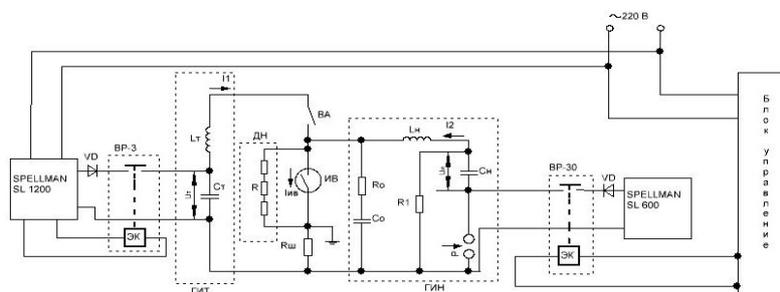
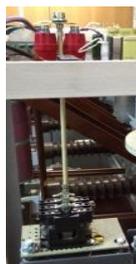


Рисунок 1. Упрощенная схема синтетических испытаний по Вейля-Добке:  $C_T, L_T$  – емкость и индуктивность контура тока;  $BA$  – включающий аппарат;  $ИВ$  – испытуемый выключатель;  $L_H, C_H$  – индуктивность и емкость контура высокого напряжения (контур ПВН);  $R_0, C_0$  – элементы схемы формирования ПВН;  $U_T$  – зарядное напряжение конденсатора  $C_T$ ;  $U_H$  – зарядное напряжение конденсатора  $C_H$ ;  $P$  – воздушный управляемый разрядник;  $I_1$  – отключаемый ток (ГИТа), частота 50 Гц;  $I_2$  – ток ГИНа, частота 500 Гц;  $I_{ИВ}$  – ток в испытуемом выключателе;  $ДН$  – делитель напряжения;  $R_1$  – зарядное сопротивление;  $R_{ш}$  – шунт;  $BP-3, BP-30$  – высоковольтные разъединители на 3 и 30кВ

При проведении предварительных испытаний возникла необходимость отключения зарядных устройств типа SPELLMAN, в связи с вероятностью выхода их из строя при проведении испытаний. Для этих целей были разработаны и изготовлены специальные разъединители с электромагнитными приводами, которые отделяют зарядные устройства от конденсаторных батарей после их зарядки. Моменты замыкания и размыкания разъединителей синхронизированы с моментами включения и выключения зарядных устройств. Общий вид разъединителя BP-3 приведен на рис. 2, а, а BP-30 на рис. 2, б.



а)



б)

*Рисунок 2. Общий вид PB-3 (а) и PB-30 (б)*

Оснащение стенда разъединителями позволило: проводить испытания не только в униполярном, но и колебательном режимах; сократить время испытаний выключателей и повысить КПД конденсаторных батарей. Проведенные испытания показали высокую надежность работы изготовленных разъединителей.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Каплан В.В., Нашатырь В.М. Синтетические испытания высоковольтных выключателей. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. -200 с., ил.

### **НЕЙТРОННО – ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ В ОБОСНОВАНИИ МОДЕРНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИВГ1.М**

Б. М Закуов, Ю. Б. Чертков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

e-mail: [berik.maratovich@bk.ru](mailto:berik.maratovich@bk.ru)

Исследовательский реактор ИВГ1.М является последней модернизацией реактора ИВГ1, который проектировался для исследования прототипов ядерно – ракетных двигателей. Последняя модернизация реактора была проведена в 1990 году. Результатом которой стала замена газового теплоносителя с открытым выхлопом в атмосферу на водяной теплоноситель с циркуляцией его в замкнутом контуре. Органы управления реактора оставались не усовершенствованными. Благодаря этому есть надежная возможность работы исследовательского реактора в современных условиях. Тем не менее, довольно быстро обнаружались недостатки реактора как исследовательского. Основным недостатком является небольшое время кампании реактора. Связанная с тем, что органы регулирования реактора восполняли реактивность в начале кампании, который рассчитан на малый интеграл энерговыделения в кампании. Еще одной причиной снижения обогащения топлива стала международная программа по понижению обогащения топлива исследовательских реакторов. Были подобраны несколько видов топлива для активной зоны реактора ИВГ1.М.

В качестве кандидатного топлива в активной зоне реактора рассматривается применение керметного топлива на основе микро топлива с матричной структурой с обогащением 19 % по изотопу урана  $^{235}\text{U}$ . Такое топливо характеризуется отсутствием прямых контактов между топливными частицами благодаря их равномерному распределению в металлической матрице. Это достигается использованием сферических топливных частиц, предварительно покрытых материалом матрицы, и их изостатическим прессованием в сердечники. Для расчетов подобраны 3 варианта конструкции ТВС с керметным топливом, отличающиеся диаметром и количеством твэлов. Следующим топливом для загрузки реактора был выбран монокристалл урана UN и U-Zr-C-N, который был синтезирован в ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» в городе Подольск. По всем теплофизическим характеристикам диоксид урана уступает церкониевому карбонитриду урана.

Целью данной работы является исследование возможности замены существующего высокообогащенного топлива активной зоны реактора ИВГ.1М на новое топливо с обогащением по  $^{235}\text{U}$  не более 20%, и приведение параметров реактора к требованиям, предъявляемым к исследовательским реакторам такого типа.

В ходе работы было создано и рассчитано 2 трехмерных компьютерных модели АЗ. С помощью данной модели проведены расчеты нейтронно – физических параметров активной зоны с предложенными видами топлива в программе MC5, которая предназначена для решения неаналоговыми и аналоговыми методами Монте-Карло неоднородных уравнений переноса фотонов и нейтронов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Я. Мерзликин. Основы физической теории ядерных реакторов. – Севастополь: СИЯЭиП, 2001. 343с.
2. М. А. Калугин. Новые алгоритмы методы Монте – карло для решения нейтронно – физических задач и верификации инженерных программ расчета реакторов. Москва. 1999. 158с.
3. Г. А. Бать, А.С. Коченов, Л.П. Кабанов. Исследовательские ядерные реакторы. – М.: Энергоатомиздат, 1985. 280с.

#### СОЗДАНИЕ ИЯУ МБИР

С.А. Киверов, С.И. Новиков, В.Р. Парфенов

Акционерное общество «Государственный научный центр –  
Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР»),  
Россия, г. Дмитровград-10, Ульяновская обл., 433510

E-mail: SAKiverov@niiar.ru

В рамках реализации финансируемой Правительством Российской Федерации федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 годов и на перспективу до 2020 года» на площадке АО «ГНЦ НИИАР» в г. Дмитровград, Ульяновская область ведется сооружение многоцелевого быстрого исследовательского реактора (МБИР).

Реактор МБИР, самый мощный из действующих, сооружаемых и проектируемых в мире исследовательских реакторов, который полностью заменит быстрый исследовательский реактор БОР-60, построенный почти полвека назад и успешно эксплуатируемый все эти годы на площадке АО «ГНЦ НИИАР».

Сооружение реактора МБИР позволит существенно расширить экспериментальные возможности российской исследовательской базы, а также выполнять работы для зарубежных заказчиков, включая совместные международные проекты в рамках планируемого на базе МБИР международного центра исследований (МЦИ) коллективного пользования.

Уникальные технические характеристики и потребительские свойства реактора МБИР нацелены на решение широкого спектра актуальных исследовательских задач в обоснование долгосрочного развития атомной энергетики и замыкания ядерного топливного цикла, а также решение прикладных задач в области отработки технологий в интересах медицины, космической отрасли, электронной промышленности, производства радиоизотопов и радиационно-модифицированных материалов.

Ключевые параметры:

- тепловая мощность реактора – до 150 МВт;
- мощность электрическая – до 55 МВт;
- компоновка – петлевая;

- количество петель охлаждения – 2;
- количество контуров охлаждения – 3;
- теплоноситель первого, второго контура и контура системы аварийного отвода тепла (САОТ) – натрий;

- рабочее тело третьего контура – вода-пар;
- тип топлива – смешанное оксидное уран-плутониевое;
- температура теплоносителя первого контура:
- вход – 330 °С;
- выход – 512 °С.
- суммарный расход теплоносителя через активную зону реактора – 650 кг/с.

К настоящему моменту в рамках реализации проекта МБИР:

- практически завершен полный цикл научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и обоснованию реакторной установки МБИР, подготовлены отчеты по обоснованию безопасности и по воздействию на окружающую среду;

- разработана и прошла экспертизу проектная документация на сооружение МБИР;
- завершены необходимые государственные экспертизы (в том числе, государственная экологическая экспертиза, подтвердившая соответствие проекта всем экологическим требованиям, установленным законодательством Российской Федерации в области охраны окружающей среды);

- получена лицензия на размещение МБИР;
- в мае 2015 года планируется получение лицензии на сооружение МБИР;
- подписаны контракты на поставку реактора МБИР и внутрикорпусных устройств, элементов реакторного оборудования;

- завершен этап подготовки площадки к строительству МБИР.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жемков И.Ю., Ижутов А.Л., Новоселов А.Е., Погляд Н.С., Святкин М.Н. Экспериментальные исследования в БОР-60 и анализ возможности их продолжения в МБИР // Атомная энергия. – 2014. – Т. 116. – вып. 5. – С. 280–283.
2. Драгунов Ю.Г., Третьяков И.Т., Лопаткин А.В., Романова Н.В., Лукасевич И.Б. Многоцелевой быстрый исследовательский реактор (МБИР) – инновационный инструмент для развития ядерных энерготехнологий // Атомная энергия. – 2012. – Т. 113. – вып. 1. – С. 25–28.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРОВ СВБР И SFR

В.Е. Ключев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: Axon@sibmail.com

На данный момент особое внимание уделено крупным международным проектам в атомной энергетике. К ним относят: проект по разработке ядерных энергетических систем четвертого поколения «GIF-IV»[1-3].

К ядерным энергетическим системам IV поколения в документах GIF-IV предъявляются следующие требования:

- долгосрочная работоспособность систем и эффективность использования ядерного топлива;

- экономическая эффективность;
- безопасность и надежность;
- устойчивость в плане нераспространения ядерных материалов.

Можно заметить, что среди перспективных реакторов отсутствуют реакторы, охлаждаемые водой под давлением, составляющие основу современной атомной энергетики. Технология реакторов PWR не отвечает требованиям к реакторам XXI в. Будущее атомной энергетики связывается с реакторами на быстрых нейтронах, которые сейчас существуют в единичных экземплярах.

Целью работы является обоснование необходимости и перспективы перехода к технологиям реакторов XXI века. Сравнение двух проектов реакторов IV поколения.

Опыт работы показал:

- Утечка и горение натрия могут быть легко обнаружены и локализованы в реакторе с натриевым теплоносителем. Но с другой стороны, натрий имеет высокую реакционную способность с окислителями. В то время как в свинцово-висмутовых реакторах очень высокая температура кипения СВТ исключает аварии, связанные с кризисом теплосъема в активной зоне, также реактор имеет защитный кожух, что исключают потерю теплоносителя.
- Натрий имеет высокие характеристики теплосъема, нейтронно-физические параметры, высокую совместимость с конструкционными материалами, а также относительно дешев. СВБР имеет довольно высокую стоимость.
- Проектный срок службы рассмотренных реакторов примерно равен 60-годам.
- Эксплуатация СВБР четко показывает, что средств на решение утилизации РАО и ОЯТ не хватает. Внедрение закрытого топливного цикла в реактор с натриевым теплоносителем позволяет повторно использовать запасы отвалного урана в качестве топлива и утилизировать оружейный и энергетический плутоний.

В ходе сравнительного анализа СВБР и реактора с натриевым теплоносителем по основным характеристикам можно сказать, что целесообразно использовать реактор с натриевым теплоносителем. Так как данный реактор превосходит СВБР по показателям безопасности «утилизации» и экономической эффективности. Перспектива перехода к технологиям реакторов XXI века очевидна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guidance for the Evaluation of Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles. IAEA-TECDOC-1362. Vienne: IAEA, 2003.
2. A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, GIF002-00. Интернет-ресурс: [www.doe.ne.gov](http://www.doe.ne.gov).
3. The Future of Nuclear Power/ An Interdisciplinary MIT Study, 2003. Интернет ресурс: <http://web.mit.edu/nuclearpower>.
4. Габараев Б.А., Смирнов Ю.Б., Черепнин Ю.С. Атомная энергетика XXI века: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 250 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ КАСКАДНЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В РЕАКТОРНОМ ГРАФИТЕ РЕАКТОРОВ ВТГР ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ

П.А. Комаров, Д.К. Пугачев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [dkp2@tpu.ru](mailto:dkp2@tpu.ru)

Высокотемпературные реакторы с гелиевым теплоносителем – это новый тип универсальных атомных энергоисточников, уникальные свойства которых, позволяют получать высокопотенциальное тепло. Замедлителем в высокотемпературных реакторах служит ядерночистый реакторный графит. Под действием нейтронного излучения в кристаллической структуре графита образуются точечные дефекты (пары Френкеля), которые под действием сопутствующего гамма-излучения и температуры облучения могут либо рекомбинировать, либо диффундировать к местам «стока» образуя тем самым более сложные дефекты. Аналитическая схема процесса дефектообразования в кристаллической решетке графита при реакторном облучении описана в работе [1].

В работе представлены четыре модели каскадной функции. В тексте модели различаются по именам ученых, которые ввели соответствующие поправки [2]: Модель Кинчина и Пиза; Модель Снайдера и Нейфельда; Модель Сандерса; Модель Линдхарда. Расчет проводится на примере спектра потока нейтронов, полученного для высокотемпературного реактора типа ГТ-МГР.

На рис 1 представлены каскадные функции для 4-х моделей в 26-групповом спектре потока нейтронов, видно, что максимальное значение каскадной функции достигает 10 000. В модели Линдхарда это значение не превышает 1 000. Экспериментально установлено, что нейтроны с энергией меньше 10 МэВ не могут создавать каскад дефектов более чем из 1 000 шт [2].

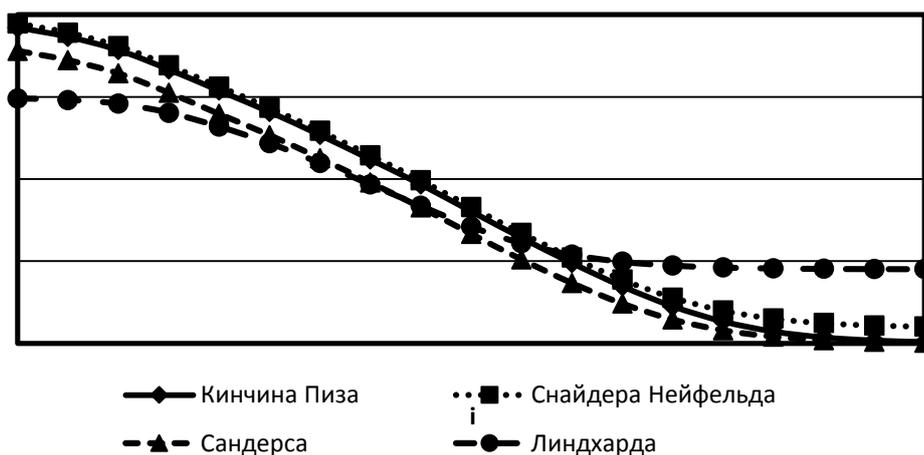


Рисунок 1. Каскадная функция для U-Пу ЯТЦ при  $C(^{235}\text{U})=20\%$ ,  $C(\text{Pu})=0\%$  ( $i$  – номер группы нейтронов, создающих дефекты, в 26-групповом представлении спектра потока нейтронов)

Анализ данных показывает, что при определении скорости накопления дефектов в 4-х групповом расчете значение завышается на 27 %, причем данная погрешность справедлива не только для уран-плутониевого ядерного топливного цикла, но и для торий-уранового для различных стартовых загрузок топлива. В моделях Снайдера и Нейфельда, Сандерса расчетная погрешность сохраняет свое значение 27 %.

Этот факт объясняется тем, что во всех 3-х моделях каскадная функция описывается линейной зависимостью. В отличие от этих моделей, математическое выражение Линдхарда имеет экспоненциальную зависимость, вследствие чего, погрешность определения 4-х групповым методом составляет 37%, в сторону увеличения расчетных результатов. Скорость образования дефектов, полученная по модели Линдхарда, в течение кампании проектного ядерного топлива увеличивается от  $1,1 \cdot 10^{16}$  до  $1,7 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>с<sup>-1</sup>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нестеров В.Н., Шаманин И.В., Емец Е.Г., Цыганов А.А., Котляревский С.Г., Павлюк А.О. Аналитическая схема дефектообразования в кристаллической решетке графита при реакторном облучении // Известия вузов. Ядерная энергетика, 2008, - № 1. - с. 120-128.
2. М. Томпсон. Дефекты и радиационные повреждения в металлах, Издательство «Мир», М: 1971. – 368с.

### ГЕНЕРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ РЕЦИРКУЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ МИШЕНИ

С.И. Кузнецов, В.Н. Забаев, В.В. Каплин, С.Р. Углов, П.В. Маерков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [smit@tpu.ru](mailto:smit@tpu.ru)

Экспериментально и теоретически показано, что применение тонких (примерно  $10^{-3}$  р. д.) внутренних мишеней в циклических ускорителях приводит к многократному прохождению электронов через них при сбросе. Кратность прохождения электронов определяется их энергией, параметрами ускорителя, толщиной структурой и материалом мишени. Возрастание коэффициента кратности прохождения (М) приводит к увеличению эффективной толщины мишени и к увеличению выхода тормозного и переходного излучения [1].

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о реализации данного механизма на Томском электронном синхротроне «СИРИУС» [2] и бетатронах.

Проведена теоретическая оценка коэффициента М в зависимости от толщины аморфной мишени и энергии ускоренных электронов [3].

Кратность прохождения электронов через мишень приводит к накоплению угла многократного рассеяния электронов. Применение специального устройства, «скрепера», позволяет уменьшить кратность прохождения электронов через тонкую мишень до  $M = 1$ , что важно при проведении тонких физических экспериментов, как например, при исследовании эффектов, связанных с каналированием электронов в кристаллах [4, 5].

Показано, что для существующих циклических ускорителей эффект многократного прохождения электронов через тонкую мишень повышает эффективность генерации тормозного и переходного излучения. Кроме того, применение скрепера позволяет при необходимости варьировать М от максимальной величины до единицы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Suzuki S., Tsuru T., Katayama T. et. al. // Nukl. Inst. and Meth. – 1973. – V. 111. – P. 39–47.
4. Калинин Б.Н., Курков А.А., Потылицин А.П. Излучение при многократном прохождении электронов через тонкие внутренние мишени в Томском синхротроне // Известия вузов. Физика. – 1991. – № 6.– С. 81–86.
5. Трутень В.И., Фомин С.П., Шульга Н.Ф. Препринт ХФТИ 82–11. – Харьков, 1982. – 27 с.
6. Андрияшкин М.Ю., Воробьев С.А., Забаев В.Н. и др. Спектрально-угловые распределения гамма-излучения при каналировании электронов // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). М. – 1990. – вып. 3. – С. 77.

7. Андряшкин М.Ю., Забаев В.Н., Калинин Б.Н. и др. Измерение спектров тормозного излучения релятивистских электронов в монокристаллах детектором полного поглощения // Приборы Техника Эксперимента – 1989. – № 6 – С. 55-60.

## ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.

Ю.А. Бежаев, А.А. Лукашук, Л.Ф. Смекалин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [yubezh@yandex.ru](mailto:yubezh@yandex.ru)

В начале 70-х годов прошлого века на спутниках, выведенных на геостационарную орбиту, были зафиксировано значительное количество различных неполадок в работе бортовой аппаратуры, вызванных накоплением электрического заряда на поверхности космического аппарата. Для повышения надежности спутников требовалось детально изучить процессы радиационной электризации космических аппаратов и выработать меры для уменьшения ее последствий.

Некоторое количество соответствующих экспериментов было проведено на борту геостационарных спутников связи. В США был даже запущен специальный спутник «SCATHA», предназначенный для изучения радиационной обстановки на орбите, эффектов заряжения космического аппарата и радиационной электризации различных материалов, расположенных на его внешней поверхности. Однако упор был сделан все-таки на проведении наземных испытаний конструкционных материалов, элементов и узлов космических аппаратов. Эти работы проводятся на лабораторных установках, моделирующих факторы космического пространства.

В нашей стране одной из первых таких установок был стенд «Прогноз-1», созданный совместно кафедрой экспериментальной ядерной физики физико-технического факультета ТПИ и лабораторий 52 НИИ электронной интроскопии ТПИ. Стенд включал в себя высоковакуумную систему откачки, источники ускоренных электронов и ионов, источник низкотемпературной плазмы и мощный источник света, имеющей спектр излучения близкий к солнечному. В вакуумную камеру загружалось несколько сравнительно небольших образцов, которые затем поочередно вводились в зону облучения. Но такая схема была оправдана только на начальном этапе изучения проблемы. С одной стороны, громоздкость механизма смены образцов мешала более детальному изучению особенностей накопления радиационного заряда, с другой стороны этот же механизм не позволял облучать крупные макеты элементов космического аппарата. Также стало очевидным, что нерационально совмещать на одном стенде изучение всех процессов радиационной электризации.

Поэтому в лаборатории 52 ИНК ТПУ были разработаны и запущены в эксплуатацию несколько специализированных стендов и установок:

- модернизированный стенд «Прогноз-1»;
- стенд «Прогноз-2» для испытаний образцов и макетов площадью до 0,5 м<sup>2</sup> в поле электронного излучения с распределением по энергиям, близким к энергетическому спектру электронной компоненты магнитосферной плазмы;
- установка «Прогноз-3» для исследования радиационной поверхностной и объемной проводимости высокоомных материалов;

- установка «Прогноз-4» для исследования распределения радиационного электрического заряда по поверхности и объему облучаемого диэлектрика.

## ФАКТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИМСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ СИНТЕЗОМ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БОРИДОВ

М.Б. Лабькин, Е.В. Шкляренко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mbl1@tpu.ru](mailto:mbl1@tpu.ru)

Известно несколько путей управления самораспространяющимся высокотемпературным синтезом, которые следует рассматривать применительно к конкретным его стадиям и изменяемым параметрам. Основными стадиями СВС принято считать подготовку исходной шихты, синтез в режиме самораспространения и стадию охлаждения продуктов горения, включая догорание. К изменяемым параметрам СВС можно отнести химический состав, стехиометрическое соотношение компонентов и распределение частиц по размерам исходных реагентов, плотность исходной шихты, начальные размеры образцов, начальную температуру, начальное давление [1].

Выделяются следующие типы управления процессом СВС [1]:

- Управление на стадии подготовки шихты включает в себя правильный выбор химических реагентов, изменение плотности исходного образца, варьирование начальных размеров образца и т.п.
- Управление при проведении процесса, включающее в себя термический подогрев системы.
- Управление при охлаждении готовых продуктов, состоящее в изменении температурного режима охлаждения и типа используемой атмосферы (что особенно важно для стадии дореагирования). Достоинства состоят в возможности точной регулировки изменяемых параметров, к недостаткам относятся трудности контроля результатов воздействия без обязательного количественного анализа СВС-продуктов.

Наиболее часто применяемый способ управления – управление на стадии подготовки исходной шихты. В этом случае для двухкомпонентных СВС-систем основными параметрами, влияющими на протекание СВ-синтеза являются следующие:

- плотность исходного образца, связанная с величиной давления предварительного прессования;
- энергетический выход протекающих в системе СВС-реакций, связанный с элементным составом исходной системы;
- температура предварительного подогрева исходного образца, обуславливающая начальную температуру процесса.

Исследования показали значительное влияние на фазовый состав конечного продукта влияние плотности исходного образца, введение в исходную шихту реакционно-способных добавок. Температура предварительного подогрева оказала незначительное влияние на фазовый состав конечного продукта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мержанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез / «Физическая химия»: Современные проблемы. Ежегодник. Под ред. Я.М. Колотыркина – М.: Химия, 1983. С.6-45.

## ПОРОГОВЫЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗМНОЖАЮЩИХ РЕШЕТКАХ И СИСТЕМАХ С ТОРИЕМ

Кнышев В.В., Украинец О.А., Иванова А.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [vyk28@tpu.ru](mailto:vyk28@tpu.ru)

Основная цель настоящей работы вновь обратить внимание на проблемы, связанные с вовлечением тория в ЯТЦ при реализации новой технологической платформы ядерной энергетики в России.

Для надежной оценки эффективности уран-ториевого ЯТЦ, имеет первостепенное значение точность оценок сечений взаимодействия нейтронов с ядрами топливных композиций. В настоящее время имеется множество разноплановых экспериментальных и расчетных ядерных данных, довольно полно они представлены в следующих библиотеках оцененных ядерных данных – ENDF (США), JEFF (Европа), JENDL (Япония), TENDL (РФ), РОСФОНД (РФ).

Несмотря на это во всех существующих базах ядерных данных, в том числе и оцененных, практически, отсутствует информация о пороговых нейтронных реакциях на ядрах  $^{232}\text{Th}$ , а имеющиеся значения выходов и сечений отличаются на порядки.

В работе приведены результаты исследований и численных экспериментов, направленных на определение ядерно-физических и радиационных характеристик решеток и систем хранения с торием. Показана необходимость в корректировке ядерных констант, используемых в расчетах на критичность решеток и систем с торием.

Исследование выполнено при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации. Конкурс на право получения стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам. Грант № СП-295.2015.2.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев-Степной Н.Н., Лунин Г.Л., Морозов А.Г. и др. Легководный ториевый реактор ВВЭР-Т // Атомная энергия. – 1998. – Т.85, №4. – С.263-277.
2. Шаманин И.В. Следствия, вызванные отличиями структур резонансной области поглощения ядер  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – № 11 (43). – С. 47–53.
3. Проект MCU. Моделирование процесса переноса частиц методом Монте-Карло. URL: <http://mcuproject.ru/rinfo.html>.
4. Внуков В.С. Глубина выгорания как параметр ядерной безопасности хранилищ и транспортных упаковочных комплектов с отработавшим ядерным топливом // Атомная техника за рубежом. – 1990. – № 12. – С. 9–11.
5. Шаманин И.В., Буланенко В.И., Беденко С.В. Поле нейтронного излучения облученного керамического ядерного топлива различных типов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 2. – С. 97–103.

## НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МИКРОТОПЛИВА

С.А. Монгуш

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [Mongusch-S@mail.ru](mailto:Mongusch-S@mail.ru)

В настоящее время бурно развивается промышленное производство, что ведет к увеличению энергопотребление во всех странах мира. Основными источниками энергии на сегодняшний день являются природный газ, нефть, уголь, которых по данным МАГАТЭ хватит примерно на 50-60 лет, а урана по данным

МАГАТЭ на 100 лет. Возникает проблема поиска альтернативных источников энергии. Одним из наиболее перспективных источников энергии на сегодняшний день является водородная энергетика, которая позволит получать огромное количество энергии при синтезе ядер водорода. Однако на данный момент человечество еще не научилось управлять данной реакцией. К тому же нет необходимых запасов водорода для полномасштабного производства энергии. Для производства водорода необходимо строительство высокотемпературных ядерных реакторов, которые позволяют нарабатывать водород из метана при высоких температурах. Однако высокие температуры не позволяют использовать стандартные тепловыделяющие сборки в ядерных реакторах, поэтому в 60 годах было предложено использовать новые тепловыделяющие элементы, имеющие форму шара с несколькими слоями защиты (микротопливо). Делящийся и сырьевой материал в данном тепловыделяющем элементе, располагается в центре микротоплива, его характерные размеры составляют 200 мкм. Он окружен 3÷4 слоями защитного покрытия. Характерные размеры защитного покрытия составляют 300÷400 мкм [1].

Строение микротоплива обеспечило ряд преимуществ: разница температур теплоносителя и топлива не превышает 40 °С; конструкция МТ практически исключает возможность выхода в активную зону продуктов деления; выгорание делящегося материала в 2-3 раза выше, чем в стержневых твэлах; отработанное топливо невозможно использовать в качестве ядерного оружия [2].

В настоящее время планируется внедрение микротоплива не только в высокотемпературные ядерные реакторы, но и в стандартные водо-водяные реакторы. Это позволит обезопасить энергетическую установку не только от выхода продуктов деления в активную зону установки, но и от несанкционированного использования топлива в качестве ядерного оружия. Для эффективного внедрения микротоплива в ядерные реакторы необходимы проведение нейтронно-физических расчетов и экспериментальных исследований.

В данной работе приведен расчет глубин выгорания микротоплива для разных обогачений в программном пакете MSU, основанном на методе Монте-Карло.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. В 6 т. Том 6. Часть 2. Ядерные топливные материалы. / Б.А. Калинин, Ю.А. Годин, Ф.В. Тенишев, В.В. Новиков./ Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2008. с. 505-523.
2. Карпов В.А. Топливные циклы и физические особенности высокотемпературных реакторов. М.Энергоатомиздат, 1985. с. 9-22.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУГР ФГУП «ГХК» ПО ВАРИАНТУ РАДИАЦИОННО-БЕЗОПАСНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ НА МЕСТЕ

А.А. Музыкантов, П.М. Гаврилов, Д.О. Чубреев

ФГУП «Горно-химический комбинат»,

Россия, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 53 662972.

e-mail: [Sydrex@bk.ru](mailto:Sydrex@bk.ru)

##### 1. Исходное состояние.

На площадке ФГУП «ГХК» расположены три промышленных уран-графитовых реактора (ПУГР) – АД, АДЭ-1 и АДЭ-2. Реакторы вместе со вспомогательным оборудованием и коммуникациями размещены в горных выработках скального массива.

##### 2. Работы по выводу из эксплуатации ПУГР ФГУП «ГХК» в рамках ФЦП ЯРБ.

С 2008 года основные работы по выводу из эксплуатации остановленных реакторов АД, АДЭ-1, ведутся в рамках п.62 федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года».

### **3. Выбор варианта вывода из эксплуатации ПУГР ФГУП «ГХК».**

Реализация варианта захоронения реакторов на месте позволит локализовать и изолировать основные радиоактивно загрязненные компоненты оборудования, строительных конструкций, радиоактивные отходы в шахтах реакторов с созданием необходимых физических барьеров безопасности, исключающих несанкционированный доступ в зону локализации и нерегламентированный выход радиоактивных веществ в окружающую среду.

### **4. Результат реализации проекта вывода из эксплуатации ПУГР ФГУП «ГХК».**

– В конечном состоянии реактор будет защищён многобарьерной системой, обеспечивающей надёжную изоляцию радионуклидов от окружающей среды.

– Экономическая эффективность – более 1 миллиарда рублей на одну установку (с учетом затрат на сооружение региональных хранилищ ТРО при реализации варианта «ликвидация»).

### **5. Риски отложенного решения вывода из эксплуатации ПУГР ФГУП «ГХК».**

Вывод из эксплуатации является обязательным этапом жизненного цикла реакторных установок. Отказ от деятельности по выводу из эксплуатации окажет негативное влияние на окружающую среду, в особенности для будущих поколений, так как неизбежно приведёт к постепенной утрате защитных функций существующих барьеров безопасности: металлоконструкций реактора и строительных конструкций, что в свою очередь увеличивает риски распространения радиоактивных веществ за пределы промышленной площадки ФГУП «ГХК».

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУГР ФГУП «ГХК».**

### **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ»**

А.А. Музыкантов, П.М. Гаврилов, М.В. Антоненко

ФГУП «Горно-химический комбинат»,

Россия, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 53 662972.

[Sydrex@bk.ru](mailto:Sydrex@bk.ru)

### **1. Исходное состояние.**

На площадке ФГУП «ГХК» расположены три промышленных уран-графитовых реактора (ПУГР) – АД, АДЭ-1 и АДЭ-2. Реакторы вместе со вспомогательным оборудованием и коммуникациями размещены в горных выработках скального массива.

### **2. Работы по выводу из эксплуатации ПУГР ФГУП «ГХК» в рамках ФЦП ЯРБ №1 на период до 2016 года**

В рамках реализации ФЦП ЯРБ 19 февраля 2014 с ФГУП «ГХК» заключен государственный контракт на выполнение работ «Вывод из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов Федерального государственного предприятия «Горно-химический комбинат».

### **3. Проблемы создания и первоначального наполнения ИСВЭ ПУГР и ИСУП ПУГР**

В настоящее время для разработки производственных информационных систем и баз данных используется программное обеспечение (ПО) иностранных производителей, таких как «РТС» и «Autodesk».

Российские производители, такие как компания «АСКОН» в настоящий момент не имеют возможности предложить альтернативное ПО для выпуска программного продукта на рынок потребуются не менее двух лет.

В результате выполнения работ по сканированию документации исполнители столкнулись со следующими сложностями: значительное количество документации подлежащей сканированию (более 300 кг); плохое состояние документации привело к необходимости ее восстановления.

#### 4. Перспективы использования ИСВЭ ПУГР и ИСУП ПУГР

ИСВЭ ПУГР позволит существенно упростить работу проектантам и техническим службам, планирующим работы по ВЭ.

Наглядность и онлайн актуальность 3D моделей позволил лучше организовать процессы управления и контроля исполнения работ по ВЭ в целом.

Удобный поиск документов и их просмотр в электронном архиве ИСВЭ ПУГР в десятки раз сокращают время технической специалистов и проектантов, задействованных в работе по ВЭ.

Возможность размещения, обработки, хранения, поиска и выдачи технической, организационно-распорядительной, нормативно-справочной, закупочной и договорной документацией по выводу из эксплуатации ПУГР.

Возможность проведения анализа рисков проектов (работ) по выводу из эксплуатации и разработку программ по снижению рисков.

Визуализация радиационной обстановки в помещениях объектов ПУГР, фиксирование коллективных дозозатрат, прогнозного и фактического количества РАО при проведении технологических операций по выводу из эксплуатации ПУГР.

### РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНВЕРТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ В ТЕРМОЯДЕРНЫЕ В ПРОЦЕССЕ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

И.В. Прозорова<sup>1</sup>, М.К. Скаков<sup>1</sup>, И.Л. Тажибаева<sup>1</sup>, Т.В. Кульсартов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт Атомной Энергии НЯЦ РК,

Казахстан, Курчатов, ул. Красноармейская, 10, 71100

E-mail: [Prozorova@nnc.kz](mailto:Prozorova@nnc.kz)

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики,

Казахстан, Алматы, ул. Толе-би, 9ба, 480012.

E-mail: [tima@physics.kz](mailto:tima@physics.kz)

Работа была выполнена в рамках гранта по проекту: «Разработка и создание конвертера тепловых нейтронов в термоядерные нейтроны на базе ФКЭ (физический канал экспериментальный) реактора ИВГ.1М.»

Для обоснования конструкции будущих термоядерных реакторов проводятся широкомасштабные исследования по самым различным аспектам управляемого термоядерного синтеза. Одно из важных направлений данных исследований – это испытания материалов ТЯР в условиях максимально приближенных к условиям их реальной эксплуатации для подтверждения их работоспособности в реакторах термоядерного синтеза. Одной из задач является проведение экспериментов при одновременном воздействии на исследуемые материалы таких факторов эксплуатации как температура, нейтронное и гамма облучение, среда облучения.

Очевидно, что для решения таких задач необходимо наличие источников нейтронов термоядерного спектра, которые на настоящий момент могут быть получены на установках-генераторах термоядерных нейтронов ускорительного типа, токамаках работающих на реакции дейтерия с тритием и на ядерных реакторах, при использовании идеи конверсии нейтронов теплового спектра в термоядерные [1].

В ИАЭ НЯЦ РК ведутся работы по созданию специального съемного экспериментального устройства для конверсии тепловых нейтронов в термоядерные на базе физического экспериментального канала (ФЭК) реактора ИВГ1.М [2].

В настоящей работе приведены результаты нейтронно-физических расчетов для различных конструкций конвертера тепловых нейтронов в термоядерные. На основе данных расчетов были определены оптимальные параметры разрабатываемого конвертера, такие как геометрические размеры и материальный состав, обеспечивающие заданные технические условия по облучению образцов дейтерида лития.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рождественский М., Точеный Л., Чупова Л. Конвертирование тепловых нейтронов в быстрые с энергией 14,1 МэВ // Атомная техника за рубежом. – 1986. – № 1. – С. 22.
2. Реакторные комплексы ИГР, «Байкал-1», ВВР-К и перспективы развития на их базе фундаментальных и прикладных исследований / Э.С. Айтхожин, Ф.М. Аринкин, Г.А. Батырбеков [и др.]: препринт НЯЦ РК-00-12.– Курчатов, 2000.– 75 с.

#### СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ И РАСХОДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС КОПУСНОГО КИПАЮЩЕГО РЕАКТОРА

В.П. Садулин

АО «ГНЦ НИИАР»

Россия, г. Димитровград-10, Ульяновская обл., 433510

e-mail: [svp@niiar.ru](mailto:svp@niiar.ru)

В перспективных корпусных кипящих реакторах (ККР) с естественной циркуляцией теплоносителя (ЕЦТ) в активной зоне, разрабатываемых в России и за рубежом для атомных станций повышенной безопасности, и, возможно, в других водоохлаждаемых реакторах, может найти применение система комплексного контроля энерговыделения и расхода теплоносителя в ТВС прототипного ККР ВК-50. Техническую основу системы составляют подвижные детекторы прямого заряда (ПДПЗ) с родиевыми эмиттерами и турбинно-нейтронные расходомеры (ТНР). Измерениями охвачены рабочие ТВС в 1/6 части активной зоны. ПДПЗ перемещаются по высоте активной зоны в «сухих» каналах, вводимых через крышку реактора в центральные трубки ТВС. ТНР размещают на входе в ТВС в съемных хвостовиках, которые можно присоединить как к «свежим», так и облученным ТВС [1-3].

ТНР – расходомер турбинного типа, в котором съем сигнала о частоте вращения турбинки и, соответственно, о расходе теплоносителя, осуществляют детектором нейтронов (в данном случае – родиевым ПДПЗ), регистрируя частоту локальных возмущений (модуляций) нейтронного поля, создаваемых нейтронно-поглощающими элементами турбинки, вращающимися вместе с ней. Погрешность измерения расхода -  $\pm 1\%$ . Ресурс непрерывной работы ТНР (до исчерпания ресурса подшипников турбинки) в реакторе ВК-50 составляет не менее 8 месяцев и приближается к длительности работы реактора в одногодичной кампании [3].

ПДПЗ исполняет две функции. В нижнем положении с помощью ПДПЗ регистрируют расход (скорость циркуляции) теплоносителя на входе в ТВС, а при равномерном перемещении снизу вверх получают распределение тока детектора по высоте ТВС. По нему расчетом, в соответствии с механизмом токообразования родиевого детектора, восстанавливают аксиальное распределение скорости реакции активации родия-103, связанной с плотностью потока нейтронов. По аксиальным распределениям скорости реакции активации родия-103 и скоростям циркуляции теплоносителя на входе в ТВС на основе созданного программного комплекса расчетом получают взаимосвязанные аксиальные распределения абсолютных значений энерговыделения и паросодержания теплоносителя, а также мощностей ТВС активной зоны. Данные по паросодержанию теплоносителя необходимы для определения параметров спектра нейтронов (в двухгрупповом представлении), используемых в алгоритме восстановления энерговыделения [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство на изобретение РФ №822687 от 08.12.1978. МПК G21C17/022. Устройство для внутриреакторного контроля / Садулин В.П., Сидоренко Г.И., Попов Н.И. Оpubл. 10.06.2010, БИПМ № 16.
2. Лещенко Ю.И., Садулин В.П., Семидоцкий И.И. Система контроля энерговыделения в активной зоне кипящего реактора // Атомная энергия. - 1987. - Т.63. - вып. 6. - С. 410-412.
3. Садулин В.П. Турбинно-нейтронный метод измерения расхода теплоносителя в тепловыделяющих сборках корпусного кипящего реактора ВК-50// Вопросы атомной науки и техники. Сер. Обеспечение безопасности АЭС. – 2009. - Вып. 25. – С. 126-134.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

В.Е. Юричев, Е.В. Шушкова, Д.А. Конева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [existence3@yandex.ru](mailto:existence3@yandex.ru)

На сегодняшний день Россия стала мировым лидером в развитии технологий для атомной энергетики будущего, в том числе и транспортных ядерных реакторов. [1]

Одно из главных преимуществ транспортного ядерного реактора – отсутствие необходимости в регулярной дозаправке топливом, которое, в случае с атомным ледоколом, необходимо в плавании во льдах, когда такой возможности нет или дозаправка сильно затруднена.

В случае с космосом, жидкостные ракетные двигатели открыли человеку дорогу на околоземные орбиты, но дальше двигаться на этой энергетической базе бессмысленно: скорость истечения реактивной струи в них не превышает 4.5 км/с, а для межпланетных полетов нужны десятки километров в секунду. Единственным вариантом нового двигателя для космических кораблей является ядерная силовая установка. Использование ядерной энергетики в космосе позволит изучить космос на новом уровне. [2]

Таким образом, целью данной работы стало изучение перспектив развития транспортных ядерных реакторов, а на основании этих примеров можно подчеркнуть актуальность выбранной темы работы.

В ходе данной работы осуществлен обзор существующих технологий, перспектив развития транспортных ядерных реакторов в России и за рубежом. Была рассмотрена вся линейка атомных ледоколов, их назначение и характеристики. Атомный ледокольный флот, принадлежащий России, – уникальный флот и единственный в своем роде. Наличие такого флота может обеспечить не только возможность изучения Северного полюса и северного морского пути, но и развитие туризма. [3] Также осуществлен обзор ядерных реакторов на космических аппаратах, перспективы развития космических аппаратов на ядерных двигательных

установках; рассмотрены вопросы, касающиеся экологической безопасности космических ЯЭУ. Россия обладает всеми технологиями для создания двигателей для сверхтяжелых ракет. [4]

Рассмотрены АПЛ крупных стран. В состав ВМФ РФ входят 13 атомных подводных лодок с баллистическими ракетами, 27 атомных подводных лодок с ракетно-торпедным вооружением, 19 дизельных подводных лодок, 8 атомных подводных лодок специального назначения и 1 дизельная подводная лодка специального назначения. АПЛ строятся на четырех судостроительных заводах. [5]

Рассмотрены современные проекты атомовозов, среди них проект создания «Росатом» совместно с «РЖД» подвижного состава с ядерным реактором. Также рассмотрены некоторые проекты автомобилей с ядерным двигателем. [6]

Таким образом, рассмотрев перспективы развития транспортных ядерных реакторов, следует сделать вывод о том, что на данный момент ядерная энергетика развивается высокими темпами. Проекты по созданию такого рода реакторов представляют большой интерес. Атомная отрасль России уверенно продвигается вперед в разработке новых моделей реакторов. Использование транспорта, оснащенного ядерной силовой установкой, позволит освоить неизученное на новом уровне и добиться новых результатов в решении задач, которые сейчас стоят перед учеными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. WNA назвала Россию лидером в развитии технологий атомной энергетики будущего: [Электронный ресурс] // Lenta.ru, 2014. URL: <http://lenta.ru/news/2015/04/09/rosatom/> (дата обращения: 03.03.2015).
2. Ядерная энергетика в космосе: [Электронный ресурс] // Наука и техника – электронная библиотека, 2005. URL: <http://n-t.ru/nv/2005/03041.htm> (дата обращения: 04.03.2015).
3. Единственный в мире: атомный ледокольный флот: [Электронный ресурс] // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды: сетевой журн., 2012. URL: <http://www.atomic-energy.ru/smi/2012/09/21/36187> (дата обращения: 14.03.2015).
4. Ядерная энергетика в космосе: [Электронный ресурс] // РИА Новости, 2007. URL: <http://ria.ru/analytics/20070810/70857732.html> (дата обращения: 22.03.2015).
5. Кузнецов В.М. Российская атомная энергетика: Вчера, сегодня, завтра. Взгляд независимого эксперта. - М.: Изд-во «Голос-пресс», 2000.
6. «Росатом» и «РЖД» создадут подвижной состав с ядерным реактором: [Электронный ресурс] // Lenta.ru, 2014. URL: <http://lenta.ru/articles/2011/02/21/nuclear/> (дата обращения: 03.04.2015).

#### РАСЧЕТЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА РЕЗОНАНСНОГО УСКОРИТЕЛЯ БЕТА-8

А.М. Опекунов, М.Л. Сметанин, А.В. Тельнов, И.В. Шориков

Федеральное государственное унитарное предприятие Российский федеральный ядерный центр Всероссийский  
научно-исследовательский институт экспериментальной физики

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Россия, Нижегородская область, г. Саров, пр. Мира, 37, 607190

E-mail: AMOpekunov@vniief.ru

В настоящей работе исследуется тракт проводки электронного пучка резонансного ускорителя электронов БЕТА-8 «РФЯЦ ВНИИЭФ» [1], включающий ВЧ инжектор [2] и систему магнитной транспортировки от ВЧ инжектора до ускоряющего резонатора. Ускоритель предназначен для непрерывного производства электронных сгустков с энергией 1,5-7,5 МэВ со средней мощностью 300 кВт и выше.

Работа заключалась в расчетном подтверждении проектных характеристик электронного пучка, генерируемого ВЧ инжектором на исследуемом участке тракта проводки пучка ускорителя БЕТА-8.

Приведены результаты численных расчетов динамики электронных ступков с учетом объемного заряда для энергий инжекции от 50 до 100 кэВ на выходе ВЧ инжектора и выходе из системы магнитной транспортировки. Из-за высокой проектной мощности пучка необходимо минимизировать или полностью исключить потери электронов в каналах магнитной транспортировки. Расчеты показали, что в указанном диапазоне энергий инжекции, на выходе из ВЧ инжектора и канала транспортировки можно достичь требуемого энергетического разброса. При этом продольные размеры ступка также не превышают проектных значений. Проведенные расчеты позволяют с уверенностью проводить эксперименты по ускорению пучка в коаксиальном резонаторе ускорителя БЕТА-8.

В работе представлены характеристики и схематическое изображение компонент ускорителя БЕТА-8, а также расчетные результаты проводки электронного пучка от ВЧ инжектора до входа в резонатор ускорителя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N.V. Zavyalov, S.A. Zhelezov, S.T. Nazarenko, V.V. Porkhaev et al. A CW electron accelerator. The planned design and electrophysical characteristics. // Problems of atomic science and technology. – 2006. - №2 Series: Nuclear Physics Investigations (46). – P. 8-10.
2. V. Volkov, V.S. Arbutov, K.N. Chernov, G. Kurkin et al. CW 100 keV electron RF injector for 40 mA average beam current. // RUPAC14. – 2014.

---

# Секция 2

---

Инновационные  
материалы и технологии  
в ядерной и «зеленой»  
энергетике

## THE INVESTIGATION OF HYDRIDES DEPTH DISTRIBUTION IN ZIRCONIUM ALLOY ZR-1NB AFTER HYDROGENATION AT GAS ATMOSPHERE

M.N. Babihina

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [m.babihina@mail.ru](mailto:m.babihina@mail.ru)

Zirconium and its alloys are widely used in nuclear power. They are subject to corrosion and hydrogenation during operation in the nuclear reactor core. Hydrogen penetration occurs in the zirconium fuel cladding mainly from the outside and as a result nonuniform hydrides distribution is observed after exploitation. Preparation of samples with the same hydrides distribution like after exploitation is required for mechanical testing of fuel cladding tubes. For this, zirconium alloy Zr-1Nb samples with the dimensions of 20×20×0.6 mm were prepared and grinded to remove the oxide film. Hydrogenation was carried out on the Gas Reaction Controller equipment at temperature 320 °C and pressure 2 atm. for 6 hours to a concentration of 2500 ppm. The analysis of hydrogen distribution in the prepared samples was carried out by using glow discharge optical emission spectrometer Profiler 2. Microhardness was measured with a Vickers hardness tester KB 30S. The results of investigation are presented on the Figure 1.

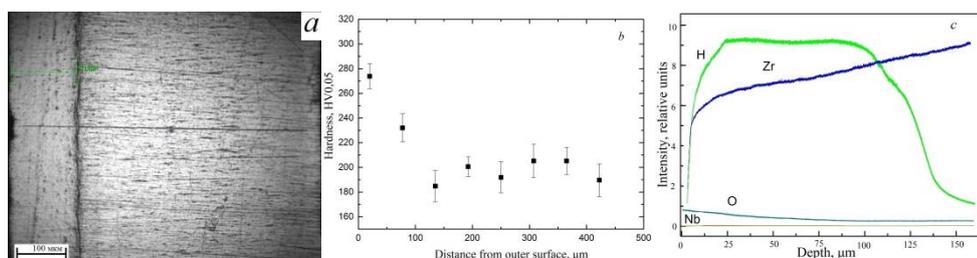


Figure 1. Image of transverse section of the sample of zirconium alloy E110 after hydrogenation (a), the results of microhardness transverse section (b), and the profile of the distribution of hydrogen (c)

Figure 1a shows an image of transverse section of zirconium alloy after hydrogenation. It is clear that on the outer surface of the samples there is a hydride layer with a thickness of ~130 microns. Figure 1b shows the results of microhardness measurements on the transverse section of the sample. Hydride layer has a greater hardness in comparison with the zirconium matrix. However, the hydride layer has a hardness distribution gradient. This effect is due to the fact that during the hydrogenation at low temperature and high pressure the low diffusion rate is provided at high hydrogen permeation rate. This leads to the hydrides formation directly after the penetration of hydrogen near the surface of the material. Subsequent penetration of the hydrogen occurs through the pre-formed hydride, and it leads to reducing of hydrogen amounts with increasing depth which is confirmed by the analysis of the distribution of hydrogen by glow discharge plasma spectrometry (Figure 1c).

Metallographic analysis and study of the hardness distribution of zirconium alloy hydrogenated to a concentration of 2500 ppm showed that the sample have the nonuniform distribution of the hydrides. During the hydrogenation at 320 °C the hydride layer with the thickness of 130 micrometers is formed in the samples. At the same time the hydride layer has a hydrogen distribution gradient which is connected with the hydrogenation at low temperature and high pressure hydrogen when hydrides are formed directly at hydrogenation. Hydrogen distribution gradient by depth is confirmed by glow discharge plasma spectrometry.

## REFERENCES

1. Nagase F. Hydride behavior in Zircaloy cladding tube during high-temperature transients //Journal of Nuclear Materials. – 2011. – Т. 415. – №. 1. – С. 117-122.
2. Kudiyarov V. N. et al. Application of automated complex Gas Reaction Controller for hydrogen storage materials investigation //Advanced Materials Research. – 2013. – Т. 740. – С. 690-693.
3. Rico A. et al. Nanoindentation measurements of the mechanical properties of zirconium matrix and hydrides in unirradiated pre-hydrided nuclear fuel cladding //Journal of Nuclear Materials. – 2014. – Т. 452. – №. 1. – С. 69-76.

## DETERMINATION OF THE NICKEL COATING ON THE Zr1%Nb ALLOY THICKNESS BY X-RAY METHOD

D. T. Zavazieva, M. S. Syrtanov, E. B. Kashkarov, V. N. Kudiyarov

Scientific Supervisor: engineer of General Physics department M. S. Syrtanov

Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [zavazievadarina@mail.ru](mailto:zavazievadarina@mail.ru)

Physical, chemical and mechanical properties of metals and alloys depend on the penetration and accumulation of hydrogen. This is acute for zirconium and titanium alloys, which are widely used in the nuclear industry [1]. For various research special preparation of samples is required with respect to hydrogen concentration and volume distribution of the material. With hydrogenation of alloys it is important to consider the possibility of oxide film formation on the sample surface which prevents penetration of hydrogen. Nickel coating on the surface increases the rate of hydrogen sorption. Furthermore, nickel is oxidized worse than titanium and zirconium, this property contributes to hydrogen absorption. Therefore, it is important to take into account the thickness of the nickel layer and its adhesive behavior.

During the work flat samples of Zr1%Nb alloy were prepared. Samples were subjected to mechanical polishing to remove surface dirt. Nickel layer was coated by magnetron sputtering method at different deposition time, which varied from 10 to 40 minutes.

The analysis of the thickness of the coating was carried out in three different ways: by the distribution profiles of nickel in depth, by spherical abrasion test method and by X-Ray diffraction method.

Calculation of thickness by XRD method was carried out on a Shimadzu XRD-7000S diffractometer in the grazing beam geometry. The penetration depth of the X-Ray beam varied by reducing the angle of incidence until the signal from the substrate is suppressed [2].

Measurements of the adhesion strength were made by the Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000. The critical load was determined during the measurement by scratching with a diamond indenter. The critical load is the minimum load at which the coating starts to destroy.

Present study demonstrates the possibility of determining the thickness of the micronic coatings by X-Ray diffraction method. The correlation between the calculation results of the distribution of nickel in depth, by spherical abrasion test method and by X-Ray method is established. The appropriate thickness of the nickel layer with the best adhesive properties and acceptable rate of hydrogen sorption was determined.

## REFERENCES

1. Non-destructive testing of hydrogen embrittlement of structural materials / I. P. Chernov [et al.] // Alternative Energy and Ecology, 2009. - № 2. - P. 15-21.

2. Toru Mitsunaga X-ray thin-film measurement techniques. Out-of-plane diffraction measurements //Rigaku journal-2009.-Vol.25.-№1.-P.10-15.

## ENERGY EFFICIENCY DEVELOPMENT

S. Seitkazi

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: Seitkazynov\_1995@mail.ru

The scientists of United National Industrial Development Organizations (Africa) state that «Energy efficiency is understood to mean the utilization of energy in the most cost effective manner to carry out a manufacturing process or provide a service, whereby energy waste is minimized and the overall consumption of primary energy resources is reduced. In other words, energy efficient practices or systems will seek to use less energy while conducting any energy-dependent activity: at the same time, the corresponding (negative) environmental impacts of energy consumption are minimized».

The impacts of energy use affect all of us and consequently, we should all be concerned about how to use energy more efficiently. However, the main bodies responsible for defining national approaches to energy efficiency are typically government agencies, whose responsibilities will usually include:

1. Enacting legislation which relate to energy efficiency if required, including defining an oversight role for energy regulators, when relevant.
2. Deciding the state budget for promoting and conducting energy efficiency activities and programmes for the general public, including tax or other incentives when appropriate.
3. Promoting energy awareness and disseminating useful information on energy efficiency measures and on recommended procedures for all sectors of the economy.
4. Allocating the budget and carrying out energy efficiency programmes in relation to government-owned assets, e.g. government buildings, vehicle fleets. These actions will serve as examples of good practices for others to follow.

Renewable energy technologies tend to have a higher profile than energy efficiency actions. This is mainly for the obvious reason that they are more visible as new installations and perceived as more «cutting-edge» technologies. This occurs even though they often have higher initial capital costs than energy efficiency measures (and may have less favorable operating costs too). However, one of the benefits of adopting renewables is the ensuing increase in awareness of energy production and consumption in the owner of the installation and also often with the public who can see or might interact with the technology.

This increased awareness of energy consumption may be used to stimulate awareness of energy efficiency by introducing energy efficiency measures simultaneously with a new renewable energy installation.

## ВЫДЕЛЕНИЕ АМЕРИЦИЯ ИЗ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

А. И. Гожимов, Ю. А. Чурсин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

E-mail: [Alg091@mail.ru](mailto:Alg091@mail.ru)

Целью работы является разработка математических моделей технологических схем разделения трансплутониевых элементов (ТПЭ) от редкоземельных элементов (РЗЭ) при использовании различных методов выделения америция из растворов, содержащих смесь РЗЭ и ТПЭ.

В работе рассмотрены три метода отделения америция от РЗЭ и кюрия – осадительный, экстракционный и сорбционный. Осадительный способ выделения америция заключается в многократном осаждении оксалатов америция, кюрия и РЗЭ, растворении оксалатов в растворе карбоната калия, окислении  $Am(III)$  до  $Am(V)$  с осаждением двойного карбоната америция(V) с калием и промывке осадка раствором карбоната калия. При этом кюрий и РЗЭ остаются в растворе[1].

Сорбционные методы основаны на различной сорбционной способности ионов  $Am^{3+}$  и  $AmO_2^{2+}$  на ионитах. Особенностью проведения процесса является то, что америций в степени окисления (+6) является сильным окислителем и трудно подобрать сорбент для многократного использования

При создании экстракционных методов разделения используют различную способность экстрагироваться  $Am^{3+}$  и  $AmO_2^{2+}$ . В исходный раствор ОЯТ добавляют окислитель персульфат аммония, который переводит  $Pu$ ,  $U$ ,  $Am$  в степень окисления (+6) и затем этот раствор передают на экстракционный противоточный каскад. Основной проблемой является низкая устойчивость  $Am(VI)$  в кислых растворах[1, 2].

Необходимость создания математических моделей данных процессов обусловлена высокой опасностью производства для безопасного проведения процесса на основе расчетных данных, большой стоимостью производства при экспериментальном проведении процесса, а также внедрением модели в комплекс программных средств, имитирующих ЗЯТЦ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Runde W. H., Mincher B. J. // Higher oxidation states of americium: preparation, characterization and use for separation. / Chem. Rev. – 2011. – V. 111. – P.5725-5741
2. Ерин Е. А., Баранов А. А., Волков А. Ю., Чистяков В. М. – Электрохимическое окисление ионов  $Am(III)$  и  $Am(V)$  в растворах  $HNO_3$ , содержащих фосфорвольфрамат калия // Радиохимия. 2005. Т. 47, №6. С. 517-519.

## РАЗРАБОТКА ПЛАЗМЕННОГО МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Н.Е. Губайдуллин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [artika@tpu.ru](mailto:artika@tpu.ru)

Нанотехнологии позволяют получать значительные успехи в материаловедении, в водородной энергетике, радиотехнике и электронике. При этом нанотехнологии требуют значительных затрат ресурсов.

Цель исследования – анализ физико-химических процессов в плазме высокочастотного разряда для разработки ресурсоэффективной технологии формирования ультрадисперсных материалов.

Одним из распространённым способом получения ультрадисперсных порошков (УДП) являются

способы плазмохимического синтеза, которые позволяют получать высокодисперсные материалы высокой чистоты с равномерным распределением компонентов. Особое место в процессе плазмохимического синтеза УДП занимают высокочастотные разряды, в частности высокочастотный факельный разряд (ВЧФ).

В работе [1] рассматриваются способы получения УДП в ВЧФ разряде, а также устройства для возбуждения ВЧФ разряда. Плазма ВЧФ разряда представляет собой сложный объект для исследования и получения нанодисперсных материалов из-за многообразия протекающих в ней физико-химических процессов. Параметры плазмы можно изменять, воздействуя на неё электрическими и магнитными полями. Одним из рассматриваемых методов является амплитудная модуляция возбуждающего разряда ВЧ поля [1].

В представляемой работе рассматривается процесс получения УДП сложных оксидов в потоке ВЧФ, который по своей природе является однородным  $E$ -разрядом с ёмкостной связью «факел-земля». Особой технологической задачей является согласование ВЧ генератора с плазменной нагрузкой. Для управления функцией распределения дисперсных частиц по размерам и величиной удельной поверхности дисперсных частиц можно использовать методы модуляции параметров плазмы ВЧФ разряда. Для этого можно изменять частоту и глубину модуляции, концентрацию и состав исходного раствора.

Метод получения оксидов в ВЧ воздушной плазме апробирован на примере термического разложения нитратного раствора, содержащего цирконий, с получением целевого продукта  $ZrO_2$ . Синтез частиц УДП проводилось на установке мощностью 25 кВт. Плазмообразующий газ – воздух. Химический анализ целевого продукта ( $ZrO_2$ ) показал, что содержание примесей не превышало количества, внесённого с исходным раствором. Содержание влаги составляло 1,8%, удельная поверхность, измеренная методом БЭТ, составляла  $14,6 \text{ м}^2/\text{г}$ , дисперсность частиц – 0,12–0,3 мкм. Диоксид циркония имел кристаллическую структуру тетрагональной сингонии со следующими параметрами решётки:  $a=5,07$  ангстрем,  $b=5,16$  ангстрем,  $b/a=1,018$ . Испытания диоксида циркония как катализатора при синтезе олефинов и ароматических углеводородов показали его высокую каталитическую активность до 100% и селективность на уровне 50-55%. Сбор УДП оксидов осуществлялось на электрофильтре.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губайдуллин Н.Е., Сариков С.В., Шишковский В.И. Применение плазмы высокочастотных разрядов в технологических процессах получения ультрадисперсных порошков тугоплавких / Сопряжённые задачи механики и экологии: Материалы международной конференции 6-10 июля 1998 года. – Томск, 1998. – С. 91-92.

#### ПОВЫШЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ЗАКИСИ-ОКИСИ УРАНА, ПОЛУЧАЕМОЙ МЕТОДОМ ПЕРОКСИДНОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ТОВАРНОГО ДЕСОРБАТА

Д.Г. Демянюк, З.Е. Дюсембекова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

e-mail: [zuhra.d.e.92@mail.ru](mailto:zuhra.d.e.92@mail.ru)

В настоящее время рудник «Западный Мынкудык» является ведущим предприятием холдинга АО «НАК «Казатомпром», выпускающим непосредственно на руднике экспортно готовую продукцию в виде закиси окиси урана (ЗОУ). Готовая продукция с рудника отправляется в адрес конечного получателя упакованная в невозвратную тару ТУК-44/8.

ЗОУ является промежуточным продуктом в производстве двуокиси, тетрафторида, гексафторида и металлического урана. Закись-окись природного урана не должна содержать инородные материалы и примеси, которые не являются составной частью продукта переработки.

В данном инновационном проекте рассмотрены способы отработки технологии получения ЗОУ и оптимизации процесса производства химического концентрата, которые позволят улучшить физические и химические свойства концентрата урана путем увеличения роста кристаллов концентрата урана на руднике «Западный Мынкудык».

В работе также были изучены свойства насыпной плотности ЗОУ с целью определения времени достижения повышения насыпной плотности ЗОУ, получаемой методом пероксидного осаждения урана из товарных десорбатов ТОО «Аппак».

Данный метод получения готовой продукции (ЗОУ) позволил увеличить заполнение упаковочной тары ТУК-44/8 с 80% до 90% от общей емкости контейнера.

В результате получена экономия по транспортно-упаковочным контейнерам (ТУК44/8), упаковочно-транспортным и экспедиторским затратам, примерно на 10%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии, Москва, 1973.
2. А.Б. Бекенов, В.Н. Аркатов, В.А. Тихонов, М.У. Джемисова. Рационализаторское предложение на тему «Заполнение ТУК-44/8 большим объемом ЗОУ», Алматы, 2012 г.
3. Технологический регламент процесса получения закиси-оксида урана методом пероксидного осаждения из растворов товарных десорбатов месторождения «Западный Мынкудык».

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОТЕКАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СВС

В.В. Закусилов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [vvz9@tpu.ru](mailto:vvz9@tpu.ru)

Процесс горения в самораспространяющемся высокотемпературном синтезе не является хаотичным, он носит управляемый характер, который реализуется на следующих стадиях: подготовка параметров шихты, проведения синтеза, охлаждение готовых продуктов. В работе изучены существующие факторы, влияющие на протекание СВС.

Механоактивация. В результате проведения механоактивации реагентов наблюдается снижение температур инициирования, улучшаются механические свойства материалов, повышается реакционная способность твёрдых реагентов [1].

Давление прессования. Вследствие увеличения давления прессования наблюдается увеличение плотности смеси реагентов, контакт между исходными реагентами увеличивается, что позволяет снизить энергетические затраты на инициирование реакции снижая температуру инициирования, а также позволяет увеличить скорость горения и теплопередачи от горячего продукта к холодному [2].

Влагосодержание. Испарение влаги в процессе горения происходит в зоне прогрева. Влага, содержащаяся в исходной шихте, оказывается дополнительным источником примесных газов, что приводит к уменьшению скорости горения из-за повышения давления газов [3].

Магнитное поле. Магнитное поле оказывает влияние на температуру и скорость распространения волны горения. Благодаря этому реакция протекает быстрее, повышается температура, а реагенты смеси активнее участвуют в синтезе. Под воздействие магнитного поля изменяется и микроструктура продукта.

Электрическое поле. Воздействие переменным электрическим полем на объект синтеза увеличивает скорость горения, т.е. электрическое поле также влияет на кинетику гетерогенных процессов. Это связано с изменением реакционной активности металлических частиц при прохождении высокочастотного электрического тока в смеси [4].

Гравитационное поле. Гравитационное действие направлено на изменение условий теплопереноса. Влияние высоких массовых полей (создаются в центробежной установке) сильно увеличивает скорость химического взаимодействия [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая химия. Современные проблемы. Ежегодник. /Под ред. акад. Я.М. Колотыркина. –М.: Химия, 1983. – С. 6 – 45
2. Демянюк Д.Г., Долматов О.Ю., Исаченко Д.С., Семенов А.О. Управление процессом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза двухкомпонентных борсодержащих материалов ядерно-энергетических установок // Известия ТПУ, 2010. №4. – С. 23 – 29
3. Кочетков Р.А. Механизмы и закономерности горения гранулированных смесей на основе титана в потоке инертного и активного газов: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Черноголовка, 2014. –С.19
4. Габбасов Р.М. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез во внешнем высокочастотном электромагнитном поле // Доклады ТУСУР, 2006. – С. N5. – С. 8 – 14.
5. Санин В.Н. Влияние массовых сил на автоволновые процессы и создание центробежных СВС-технологий: Автореф. дис. д-р. техн. наук. – Черноголовка, 2007. –С. 5 – 7

#### НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОРИЯ

Д. Е. Золотых, А. Г. Наймушин, М. Н. Аникин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [zolotykh.daniil@gmail.com](mailto:zolotykh.daniil@gmail.com)

Разведанные запасы тория в несколько раз превышают запасы урана, что, потенциально, существенно увеличивает сырьевую базу ядерной энергетики в случае использования замкнутого ядерного топливного цикла. Роль  $^{232}\text{Th}$  в ядерном реакторе такая же, как у  $^{238}\text{U}$ : при поглощении нейтронов, ядра превращаются во вторичные делящиеся тепловыми нейтронами нуклиды [1].

Расчетная модель представляет собой бесконечную по высоте элементарную ячейку реактора ВВЭР с различными вариантами топливных композиций: штатное топливо ( $\text{UO}_2$ ), уран-ториевое топливо, ториевое топливо с оружейным плутонием, ториевое топливо с энергетическим плутонием.

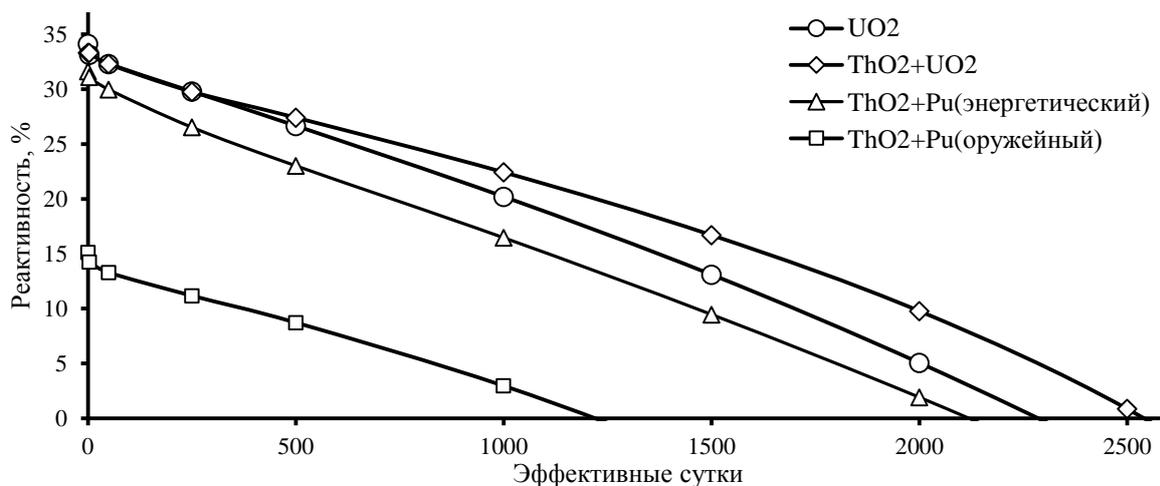


Рисунок 1. Изменение реактивности от времени для различных топливных композиций

Согласно результатам моделирования, представленных на рисунке 1, длина кампании штатного топлива составляет около 2250 эффективных суток. При использовании уран-ториевого топлива длина кампании (по сравнению со штатной загрузкой) увеличивается на 9%. При использовании топливных композиций из тория и плутония различного происхождения, длина кампания уменьшается, в случае энергетического плутония на 4%, а оружейного – на 42%. Но варианты топлива остаются перспективными в рамках программ по переработке имеющихся запасов плутония и ядерного нераспространения [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаманин И.В. Преимущества ториевого топлива в реакторах на тепловых нейтронах // Труды VI Междунар. Научно-практической конференции «Физико-технические проблемы атомной науки, энергетики и промышленности». – Томск, 2014. – Т. 1. – С. 72.
2. Пономарев-Степной Н.Н., Лунин Г.Л., Морозов А.Г. и др. Легководный ториевый реактор ВВЭР-Т // Атомная энергия. – 1998. – Т.85, №4. – С.263-277.

### ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ НИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ НА СКОРОСТЬ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВОДОРОДА В ЦИРКОНИЕВЫЙ СПЛАВ ZR1%NB

Е.Б. Кашкаров, М.С. Сыртанов, В.Н. Кудияров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [egor\\_kashkarov@mail.ru](mailto:egor_kashkarov@mail.ru)

Водород оказывает существенное влияние на физико-химические и механические свойства металлов и сплавов. Для конструкций и изделий из циркониевых сплавов проникновение и накопление водорода приводит к формированию хрупкой гидридной фазы и разрушению по механизму замедленного гидридного растрескивания [1, 2]. Многочисленные исследования влияния водорода на свойства циркониевых сплавов требуют подготовки экспериментальных образцов, содержащих различные концентрации водорода, причем с различным распределением водорода в объеме материала. Циркониевые сплавы Э-110, Э-125 являются легкоокисляющимися материалами [3]. В связи с этим, наводороживание циркониевых сплавов осложнено наличием оксидной пленки на поверхности, снижающей скорость сорбции водорода.

Предварительная ионная очистка и нанесение слоя никеля на циркониевые сплавы позволяет увеличить скорость сорбции водорода. Это связано с тем, что никель обладает высокой физической и химической адсорбционной активностью по отношению к водороду, и характеризуется высокой степенью проницаемости водорода. Кроме того, скорость окисления никеля значительно меньше, чем циркония, что способствует абсорбции водорода. Нанесение никелевого покрытия осуществлялось методом магнетронного распыления с предварительной ионной очисткой поверхности. Методами анализа сферического шлифа (разрушающий) и рентгеновской дифрактометрии (неразрушающий) проведены измерения толщины слоя никелевого покрытия, результаты измерений хорошо коррелируют. В настоящей работе была показана динамика проникновения водорода в циркониевый сплав с никелевым покрытием микронного порядка (рис. 1). С ростом толщины никелевого покрытия в исследуемых образцах наблюдается увеличение скорости сорбции водорода в циркониевый сплав.

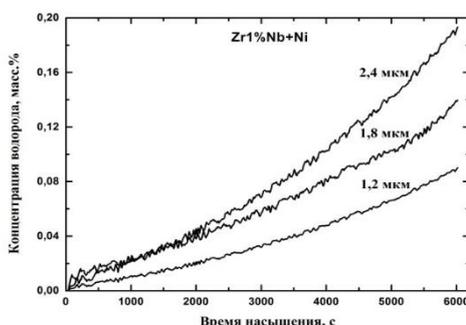


Рисунок 1. Зависимость концентрации водорода от времени насыщения

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черняева Т.П., Остапов А.В. Водород в цирконии // ВАНТ. – 2013. – №5. – С. 16-31.
2. Silva K.-R.F., dos Santos D.S., Robeiro A.F., Almeida L.H. Hydrogen diffusivity and hydride formation in rich-zirconium alloys used in nuclear reactors // Defect and Diffusion Forum. – 2010. – Vol. 297- 301. – P. 722-727.
3. Zielinski A., Sobieszczyk S. Hydrogen-enhanced degradation and oxide effects in zirconium alloys for nuclear applications // International Journal of Hydrogen Energy. – 2011. – Vol. 36. – P. 8619-8629.

#### ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ В УПОРЯДОЧИВАЮЩИХСЯ СПЛАВАХ СО СВЕРХСТРУКТУРОЙ D1<sub>a</sub>

В.Д. Клопотов<sup>1</sup>, А.И. Потекаев<sup>2</sup>, А.А. Клопотов<sup>1,3</sup>, Т.Н. Маркова<sup>4</sup>, Э.В. Козлов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

<sup>3</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

<sup>4</sup>Сибирский государственный индустриальный университет,  
Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, 654007

Перспективными в прикладном аспекте являются исследования по изучению природы стабильности фаз в сплавах и фазовых превращений в них. В этом направлении актуальными являются работы по изучению

явлений атомного упорядочения и превращению порядок-беспорядок (П-Б) в сплавах, а также сопровождающим эти явления изменения кинетических, гальваноманнитных, термоэлектрических, магнитных и других свойств. В классе этих материалов уникальными физико-механическими свойствами обладают упорядоченные фазы со сверхструктурой  $D1_a$ , которые наблюдаются в сплавах  $Ni_4Mo$  и  $Ni_4W$ . Сплавы из систем Ni-Mo, Ni-W являются основой высоко резистивных прецизионных сплавов, коррозионных сплавов, жаропрочных сплавов, сплавов для оксидных катодов.

В данной работе представлены результаты структурных исследований зависимости степени дальнего порядка (ДП) от температуры влияние фазового перехода порядок-беспорядок (П-Б) на структурно-чувствительные свойства для сплавов со сверхструктурой  $D1_a$ .

Характерной особенностью сплавов со сверхструктурой  $D1_a$  является то, что положение сверхструктурных максимумов ДП и диффузных максимумов ближнего порядка (БП) не совпадает. Фазовое превращение П-Б в сплавах вызывает изменение симметрии кристаллической решетки и сопровождается образованием сложной доменной структуры. Картину осложняет присутствие двойников превращения, антифазных границ (АФГ) и дефектов упаковки.

Элементарные ячейки структур  $A1$  и  $D1_a$  представлены на рис. 1 а,б. Координатные преобразования от исходной ГЦК-решетки к осям структуры  $D1_a$  даны на рис. 1 в. Следует отметить, что объем элементарной ячейки сверхструктуры  $D1_a$  больше объема разупорядоченной структуры  $A1$  больше в 2,5 раза.

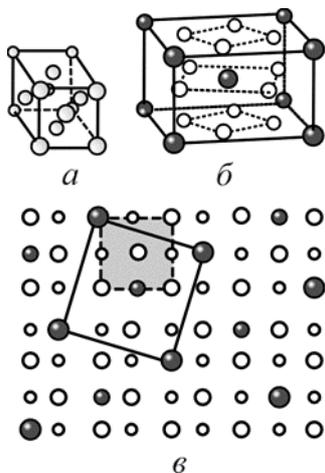


Рисунок 1. Элементарные ячейки разупорядоченной структуры  $A1$  (а), упорядоченной сверхструктуры  $D1_a$  (б) и проекция плоскости  $(001)$  и координатные преобразования  $A1 \rightarrow D1_a$  (в)

Рентгеноструктурными исследованиями установлено, что превращение П-Б  $D1_a \rightarrow A1$  является типичным фазовым переходом I рода. В сплаве  $Ni_4Mo$  строго стехиометрического состава  $AB_4$  протекает через узкую двухфазную область. Большое значение скачка параметра ДП при верхней температуре двухфазной области ( $D1_a + A1$ ) отражает слабую устойчивость к разупорядочению. Превращение П-Б завершается вдали от температуры потери устойчивости упорядоченной фазы П-Б. Большой скачок тетрагональности при температуре ФП коррелирует большим скачком параметр ДП.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

В.Д. Клопотов<sup>1</sup>, Н.П. Горленко<sup>2,3</sup>, Ю.С. Саркисов<sup>2</sup>, А.К. Кульченко<sup>2</sup>, А.А. Клопотов<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

<sup>3</sup>Сургутский государственный университет  
Россия, г. Сургут, пр. Ленина, 1, 628412

В настоящее время наиболее распространенными способами регулирования свойств воды является ее обработка внешними физическими воздействиями или внесение химических добавок как органической, так и неорганической природы. При этом в воде и водном растворе наблюдаются изменения структурной организации системы в целом, обусловленной преимущественно формированием гидратных образований растворенных ионов и газовых гидратов, что приводит к нарушению взаимодействия между отдельными структурными компонентами воды. В частности, изменяется количественное соотношение ассоциированных и отдельных диполей молекул воды, ее физико-технические свойства. Указанные процессы оказывают существенное влияние на протекание технологических процессов, где в качестве растворителя или дисперсной фазы используется вода. Поэтому возникает необходимость не только контролировать ее качество, но и целенаправленно регулировать ее свойства.

Цель работы заключается в исследовании изменений физико-технических свойств воды и водных растворов при ее обработке электрохимическим методом и оценка влияния активированной жидкости на эффективность флотации полиметаллических руд.

В работе исследовано влияние процесса электролиза технической воды на ее свойства и определена эффективность селективной флотации сложных полиметаллических руд. Известно, что процесс флотации в значительной степени зависят от таких факторов как структурная организация воды, ионный состав, рН среды, окислительно-восстановительный потенциал (Eh) и др. Структурные изменения в воде и водных растворов контролировали методом диэлектротрии, а значения рН и Eh определяли с помощью иономера И-120.

Показано, что после проведения процесса электролиза технической воды, наблюдаются значимые изменения ее электрической емкости и проводимости, измеренные при частотах 1-30 кГц, а также изменения добротности колебательного контура при резонансных частотах 30, 100 и 300 кГц. Это обусловлено, на наш взгляд, существованием в воде взаимосвязанных между собой ассоциативных комплексов из молекул воды, в которых частоты колебаний отдельных диполей ниже частот внешнего электрического поля.

Выявлено, что рН и Eh технологической воды существенно изменяются уже при затратах электроэнергии  $0,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$  и количестве электричества  $0,017 \text{ А}\cdot\text{ч}/\text{л}$ . При этом катодит характеризуется значениями рН=11,4; Eh = - 460; анолит - рН = 3,45; Eh = 260 мВ при затратах электроэнергии  $6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$  и количестве электричества  $0,2 \text{ А}\cdot\text{ч}/\text{л}$ . а концентрация кислорода с  $6,8 \text{ мг}/\text{л}$  в технической воде возрастает до  $22,2 \text{ мг}/\text{л}$  в анолите и снижается до  $3,1 \text{ мг}/\text{л}$  в катодите.

Экспериментально установлено, что применение катодита, либо анолита в процессах флотации труднообогатимых мелковкрапленных окисленных оловянно-свинцовых руд приводит к получению более

качественного концентрата с увеличением степени извлечения минеральных частиц (на 3-10%), к сокращению расход реагентов (на 50%). Эффект интенсификации процессов извлечения тонкодисперсных частиц из водных сред обусловлен образованием электролизных газов, снижением показателя жесткости воды, формированием новой структурной организации раствора.

## **ФОРМИРОВАНИЕ В ОБОЛОЧКАХ ТВЭЛОВ ГРАДИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА И ГИДРИДОВ ПО ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ**

В.Н. Кудияров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [viktor.kudiiarov@gmail.com](mailto:viktor.kudiiarov@gmail.com)

Одним из важных требований к изделиям из циркониевых сплавов активной зоны реакторов является низкое поглощение водорода, поскольку водородное охрупчивание может стать одной из причин разрушения циркониевой оболочки. В зависимости от уровня содержания водорода и температуры эксплуатации водород может находиться в циркониевых сплавах в виде твердого раствора или в виде гидридов. Наибольший охрупчивающий эффект на циркониевые сплавы оказывают гидриды, так как они обладают более низкой пластичностью, чем циркониевая матрица, и могут служить участками образования и развития трещин.

Степень влияния гидридов на свойства циркониевых сплавов во многом будет определяться равномерностью распределения гидридных пластин. Так при эксплуатации в энергетических реакторах типа LWR (Light Water Reactor) по толщине оболочки твэла при высоком выгорании и интенсивном наводороживании образуется градиент концентрации водорода и, как следствие, формирование плотного гидридного слоя толщиной 50-100 мкм у наружной поверхности. Такой гидридный слой является потенциальным местом зарождения хрупкой гидридной трещины в оболочке твэла, что может приводить к попаданию ядерного топлива или, по меньшей мере, газообразных и легколетучих продуктов деления в теплоноситель. Учет влияния распределения водорода на механические свойства циркониевых оболочек является важной задачей при проектировании твэла и не может быть выполнен без подготовки образцов со сформированным плотным слоем гидридов у наружной поверхности.

В этой связи, в настоящей работе разработан проект методики наводороживания образцов оболочечных труб из сплавов циркония с обеспечением заданного градиента концентрации водорода и распределения гидридов по толщине стенки труб.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМО- И РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННОГО ВЫХОДА ВОДОРОДА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V**

В.Н. Кудияров, Е.Н. Степанова, В.С. Сыпченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

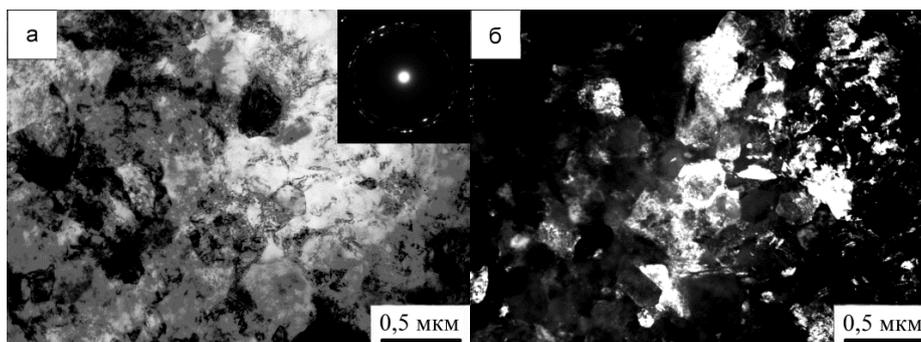
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [victor31479@mail.ru](mailto:victor31479@mail.ru)

Эффективным способом повышения механических свойств титановых сплавов, существенно зависящих от микроструктуры и фазового состава, является измельчение зерна. В то же время, известно, что

скорость поглощения водорода металлическими материалами увеличивается с уменьшением размера зерна. Таким образом, перспектива использования титановых сплавов в ультрамелкозернистом состоянии в качестве конструкционных материалов в значительной степени будет определяться влиянием водорода на структурно-фазовое состояние этих сплавов.

В работе методами электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа были проведены сравнительные исследования влияния наводороживания и дегазации путем отжига в вакууме и облучения электронным пучком на структурно-фазовое состояние двухфазного титанового сплава Ti-6Al-4V в мелко- и ультрамелкозернистом состояниях. Неравновесная ультрамелкозернистая структура со средним размером элементов зеренно-субзеренной структуры 0,29 мкм была сформирована в сплаве методом интенсивной пластической деформации путем прессования со сменой оси деформации и постепенным понижением температуры в диапазоне температур 873–853 К (рис. 1). Показано, что скорость наводороживания сплава в ультрамелкозернистом состоянии существенно (~ в 27 раз) выше, чем для образцов сплава в мелкозернистом состоянии. При этом наводороживание приводит лишь к незначительным структурным и фазовым изменениям.



*Рисунок 1. Электронномикроскопическое изображение ультрамелкозернистого сплава Ti-6Al-4V: (а) светлопольное изображение и картина микродифракции; (б) темнопольное изображение*

Отжиг в вакууме при температуре 823 К в течение 500 мин позволяет лишь незначительно снизить концентрацию водорода в сплаве Ti-6Al-4V. В то же время, использование для дегазации водорода облучения электронным пучком (энергия электронного пучка  $E = 30$  кэВ, ток на образце  $I = 35$  мкА, время облучения ~60 мин) с предварительным подогревом образца до 518 К, приводит к уменьшению концентрации водорода в сплаве до значений, близких к техническим стандартам для данного сплава.

## **ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ВИХРЕВЫМИ ТОКАМИ**

В.В. Ларионов, А.М. Лидер, Н.С. Пушилина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [lvv@tpu.ru](mailto:lvv@tpu.ru)

Цель работы – разработка технологии диагностики ресурса контейнеров на основе меди с отработавшим ядерным топливом методом вихретокового анализа. Медные контейнеры широко используются для сухого хранения отработавшего ядерного топлива [1]. Для их диагностики, в особенности сварных

соединений, используются различные методы неразрушающего контроля и их комбинации. Вихретоковые методы и средства контроля состояния металлов рассмотрены авторами в работе [2]. В настоящей работе проанализированы закономерности эволюции дефектной структуры меди марки МО1 при насыщении водородом из газовой среды. Физической основой применения вихретокового метода для этих целей является изменение электросопротивления  $\rho$  меди от наличия в ней газов и дефектов [2], как результата изготовления деталей, их газонасыщения при эксплуатации, проведения сварочных работ, когда возникает «водородная болезнь» меди. Дефекты кристаллической решетки влияют на удельное сопротивление металлов. Измеряли электросопротивление, отнесенное к единице плотности дислокаций  $\rho_d / N_d$  и удельное электросопротивление единицы плотности линейных дефектов  $\rho_L / N_L$ . Плотность дислокаций  $N_d$  рассчитана по данным рентгеноструктурного анализа по формуле  $N_d = \pi \beta^2 ctg^2 \Theta / 16b^2$ , где  $\beta$  – уширение рентгеновских линий, обусловленное микродеформацией решетки,  $\Theta$  – угол, соответствующий максимуму рентгеновской линии,  $b$  – вектор Бюргерса. По величине  $\rho_L / N_L$  и расстоянию между линейными дефектами, сравнивали изменение удельного электросопротивления, вносимое границами зерен на единицу их плотности в единице объема кристалла  $\rho_G / N_G = \rho_L / N_{LD}$ . Изменение сопротивления при наличии дефектов  $\Delta\rho$  зависит от величины сечения рассеяния электронов проводимости на дефекте. Результаты расчетов и измерений позволили идентифицировать дефекты в меди для целей неразрушающего контроля. В частности, зависимость электросопротивления меди от числа дефектов имеет куполообразный характер. Измерение электросопротивления на различных частотах приводит к деформации полученной зависимости. Это означает, что число дефектов и их вид изменяется от слоя к слою.

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания «Наука» 0.1325.2014 и ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы». Уникальный идентификатор проекта RFMEFI57514X0048.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Larsen E., Watkins A., McJunkin T., Pace D., Bitsoi R. Remote Welding, NDE and Repair of DOE Standardized Canisters. 5th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear & Pressurized Components, San Diego, May 2006.
2. Larionov V.V., Shupeng Xu, Kun Shi, Krening M.X. Effect of Hydrogen on Conductivity of Metals // Advanced Materials Research, Vol. 1084 (2015) pp. 21–25.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМУЕМОСТИ И УПЛОНЯЕМОСТИ КАРБИДА БОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ПЛАСТИФИКАТОРА

А.И. Лизунов, В.С. Панов, Ж.В. Еремеева

ПАО «МСЗ»,

Россия, г. Электросталь, ул. Карла Маркса, д.12, 144001

E-mail: [artliz481@gmail.com](mailto:artliz481@gmail.com)

В настоящее время ведется большое количество работ по совершенствованию технологии производства поглощающих элементов (ПЭЛ) для кластерного органа регулирования (КРО) реактора РМБК. Проектом предусмотрено использование карбида бора и титаната диспрозия, обладающих необходимыми нейтронно-физическими свойствами, высокой физической и химической стабильностью при тепловом воздействии, слабой активируемостью и др. Несмотря на положительные характеристики, эти материалы имеют ряд недостатков:

распухание под облучением, газовыделение под оболочку поглощающих элементов, низкую теплопроводность, а также сложность получения плотноспеченных изделий, что значительно ограничивает эксплуатационный ресурс ПЭЛов [1].

Получение высокоплотных изделий стабильного состава с регулируемой структурой, а также повышение плотности поглощающего сердечника ПЭЛов, по сравнению с общепринятой, позволит увеличить как начальную эффективность ПЭЛов, так и срок их эксплуатации. Замена используемого пластификатора (декстрина) при «мокром» методе прессования на более технологичный позволит получить плотность спеченных вкладышей ПЭЛов из карбида бора более  $1,9 \text{ г/см}^3$ .

Проведено комплексное исследование влияния пластификаторов (каучука синтетического) и спирторастворимых пластификаторов (полистирола, полиэтиленгликоля, поливинилацетата) в количестве от 1 до 5% масс. на свойства прессованных образцов карбида бора, полученных методами самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и восстановлением углеродом.

Формуемость пластифицированной смеси карбида бора определяли методом оценки устойчивости прессовок к истиранию [2]. По набору, не менее 5 штук, спрессованных из пластифицированной смеси карбида бора брикетов при одном и том же давлении, определяли сравнительную устойчивость кромок прессовки к разрушению по разнице массы прессовок до и после обработки во вращающемся барабане-сите, отнесенной к начальной массе прессовок [3].

Дана количественная оценка влияния вида пластификатора на плотность спрессованных заготовок из карбида бора. Показано влияние количества вводимого пластификатора на плотность и формуемость прессовок из карбида бора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рисованный В.Д., Захаров А.В., Муралева Е.М. Новые перспективные поглощающие материалы для ядерных реакторов на тепловых нейтронах. // Вопросы атомной науки и техники. - 2005. - №3, - с.87-93
2. Буланов В.Я., Кватер Л.И., Долгаль Т.В. Диагностика металлических порошков. - М.: Наука, 1983. - 288с.
3. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии. Т.2. Формование и спекание. - М.: МИСиС, 2002. - 368с.

#### ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИДРОКСИАПАТИТА, СИНТЕЗИРОВАННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭДТА

В.А. Малышева, Л.А. Леонова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [yikamal@mail.ru](mailto:yikamal@mail.ru)

В настоящее время одной из основных проблем здравоохранения является восстановление и замена поврежденных тканей костей, суставов и зубов. Материалы имплантатов вступают в реакцию с окружающими его живыми тканями: металлы подвергаются коррозии, пластмассы разрушаются, продукты распада отравляют организм, а сами имплантаты вызывают воспаление окружающих тканей и отторгаются. Одним из возможных путей решения данной проблемы является создание биоактивных материалов, химический состав и кристаллическое состояние которых схожи с составом и строением костной ткани. В качестве биоактивного материала для имплантатов, покрытий эндопротезов, в основном, применяют гидроксиапатит (неорганическое кальций-фосфатное соединение). Таким образом, разработка более совершенных методов синтеза

гидроксиапатита близкого по составу и свойствам к биологическому гидроксиапатиту является актуальной задачей [1].

Цель работы: изучение свойств гидроксиапатита, полученного в результате жидкофазного синтеза с использованием комплексообразователя этилендиаминтетраацетата натрия (ЭДТА).

Исследуемый гидроксиапатит синтезировали в ходе жидкофазного синтеза с использованием ЭДТА следующим образом [2]: сначала смешивали 0,5 М водный раствор нитрата кальция с 0,05 М раствором соли ЭДТА, а затем к этой смеси по каплям приливали 0,2 М раствор гидроортофосфата аммония. Процесс проводили при постоянном перемешивании, нагревании до 40-70°C и pH 8-9. Выпавший осадок выдерживали в течение 10-20 минут при нагревании 40-70°C и оставили на сутки при комнатной температуре. Далее осадок фильтровали и промывали горячей водой. Затем переносили с фильтра в тигель и прокаливали в муфельной печи в течение 1 часа при температуре 150°C, чтобы избавиться от воды и углекислого газа, после в течение 1 часа при температуре 250°C, чтобы очистить гидроксиапатит от органических соединений, и в течение 1 часа при 700°C, чтобы удалить образующейся в ходе реакции нитрат аммония. Остывший гидроксиапатит измельчали.

Инфракрасным-спектроскопическим методом анализа определяли химический состав синтезированного порошка и сопоставляли полученные данные с ИК-спектрами биологического гидроксиапатита. Выявлен состав близкий к естественному гидроксиапатиту костей. Микроскопическими методами определяли гранулометрический состав. В ходе исследований установлена зависимость химического состава гидроксиапатита от избытка нитрата кальция в системе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. С. Фомин, В. С. Комлев, С. М. Баринов. Синтез нанопорошков гидроксиапатита для медицинских применений. // Перспективные материалы. – 2006 – № 2. – С. 51–54.
2. Гузева Т.И., Леонова Л.А. и др. Получение порошка гидроксиапатита в ходе жидкофазного синтеза // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т.315. – № 3. – С. 47-50.

#### УРАВНЕНИЯ КИНЕТИКИ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ

##### В ГЦК- КРИСТАЛЛАХ

М.В. Матвеев<sup>1</sup>, О.В. Селиваникова<sup>1</sup>, Д.Н. Черепанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г.Томск, пл.Соляная 2, 634003

E-mail: ohgres@yahoo.com

В настоящее время, одной из важных задач эксплуатации ядерных энергетически установок является прогнозирование работоспособности конструкционных материалов в условиях облучения высокоэнергетическими частицами, и поиск различных путей к увеличению ресурса их эксплуатации. Для решения этой задачи необходимо знать, какие количественные характеристики, входящие в состав уравнений кинетики накопления радиационных дефектов, и механизмы определяют количество точечных дефектов возникнет в кристаллической решетке ГЦК-материала.

В данной работе приведён обзор необходимых количественных характеристик радиационных дефектов, уравнения кинетики, применяемые для модельных ГЦК - материалов, и выявленные в результате моделирования закономерности их поведения. [3]

Так, количественными характеристиками точечных дефектов, которые появляются в результате передачи атомам энергии выше некоторого порогового значения, являются концентрации  $c_{1v}$ ,  $c_{2v}$  и  $c_i$  для моновакансий, бивакансий и межузельных атомов, соответственно. При наличии примесей замещения в сплавах необходимо различать концентрации межузельных атомов разных элементов, например атомов матрицы и атомов примеси. Если же энергия значительно превышает пороговую величину, то могут образовываться целые комплексы вакансий и межузельных атомов, которые могут переходить в дислокационные петли межузельного и вакансионного типа, или же образовывать вакансионные поры. Количественными характеристиками дислокационных петель являются их плотности –  $\rho_p^v$  и  $\rho_p^i$  для вакансионных и межузельных петель, соответственно, а также средние радиусы петель  $R_p^v$  и  $R_p^i$ . Вакансионные поры характеризуются либо плотностью  $N_V$  – числом пор в единице объёма, либо концентрацией вакантных узлов в порах – объёмом пор в единице объёма. [5]

Эффекты образования комплексов точечных дефектов, и их взаимодействия определяются механизмами диффузии точечных дефектов, поэтому необходимо знать выражения для коэффициентов диффузии, которые входят в уравнения кинетики.

Для описания кинетики накопления радиационных точечных дефектов в металлических средах при облучении низкоэнергетическими частицами, способными генерировать точечные дефекты, предлагается использовать систему дифференциальных уравнений следующего вида

$$\begin{aligned}\dot{c}_i &= G_i - A_{i0} - A_{iP} - R_{i1v} - R_{i2v} - \beta_V D_{iV} w_V^i c_i, \\ \dot{c}_{1v} &= G_{1v} - A_{1vp} - A_{1vP} - R_{1vi} - R_{vv} - R_{1v2v} + w_i^{2v} R_{i2v} - \beta_V D_{1vV} w_V^{1v} c_{1v}, \\ \dot{c}_{2v} &= G_{2v} - A_{2vp} - A_{2vP} - R_{2vi} - R_{2v1v} + w_{1v}^{1v} R_{vv} - \beta_V D_{2vV} w_V^{2v} c_{2v}.\end{aligned}$$

Так же происходит изменение концентрации вакантных узлов в порах, изменяются средние радиусы межузельных и вакансионных призматических петель, плотности дислокаций, которые в свою очередь также имеют уравнения различного вида [2].

Слагаемые в этих уравнениях должны учитывать условия облучения такие как плотность потока частиц; тип, энергия и спектр бомбардирующих частиц; продолжительность облучения (нейтронный поток, доза, флюенс); температура облучения; иные внешние воздействия. В основном условия облучения определяются типом облучательной установки. Проблеме кинетики радиационных дефектов, посвящено множество публикаций, однако целостная концепция, учитывающая многообразие наблюдаемых в условиях воздействия высокоэнергетическими частицами явлений до сих пор отсутствует. Поэтому являются актуальными исследования, направленные на оценку параметров предложенных уравнений кинетики радиационных дефектов [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Starenchenko V.A., Cherepanov D.N., Selivanikova O.V. Modeling of plastic deformation of crystalline materials on the basis of the concept of hardening and recovery.// Russian Physics Journal.- 2014, Volume 57, Issue 2, June 2014 (Russian Original So. 2. February. 2014), pp. 139-151.

2. Ибрагимов Ш.Ш., Кирсанов В.В., Пятилетов Ю.С. Радиационные повреждения металлов и сплавов. М.: Энергоатомиздат, 1985. 240 с.
3. Кирсанов В.В., Суворов А.Л., Трушин Ю.В. Процессы радиационного дефектообразования в металлах. М.: Энергоатомиздат, 1985. 272 с.
4. Yoo M.H. The role of divacancies in void swelling.// Scripta Metallurgica.- 1979, v. 13, p. 635-639; Growth kinetics of dislocation loop and voids the role of bivaancies.- Phil. Mag. (a).- 1979, v. 40, № 2, p. 193-211.
5. Малыгин Г.А. Анализ факторов, вызывающих нестабильность деформации и потерю пластичности облученной нейтронами меди.// ФТТ.- 2005, т. 47, вып. 4, с. 632-638.
6. Малыгин Г.А. Влияние дисперсных частиц на образование бездефектных каналов и стабильность деформации облученных нейтронами металлов.// ФТТ.- 1991, т. 47, вып. 7, с. 1247-1252.

## СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА АЗОТНОКИСЛЫХ ЭКСТРАКЦИОННЫХ РАФИНАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОННООБМЕННОЙ СМОЛЫ S957

А.А. Морозова, М.А. Земченко

Публичное акционерное общество «Машиностроительный завод»,

Россия, г.Электросталь, ул. К.Маркса, 12, 144001

E-mail: [schuchenka@yandex.ru](mailto:schuchenka@yandex.ru)

В производственных условиях проведено исследование эффективности работы опытно-промышленной установки по снижению удельной альфа-активности азотнокислых рафинатов, образующихся при экстракционной очистке урансодержащих растворов. С этой целью использовали их ионообменную очистку с помощью смолы хелатного типа S957, устойчивой при работе в кислых средах.

Для оценки степени очистки азотнокислых рафинатов от удельной альфа-активности производили отбор проб растворов на входе и выходе из установки доочистки, которые далее подвергали нейтрализации сухим СаО. Твердые осадки отфильтровывали, тщательно высушивали до сыпучего состояния и определяли их удельную альфа-активность с дальнейшим пересчетом на аналогичную величину для растворов, из которых эти осадки были получены. При проведении расчетов предполагали, что вся удельная альфа-активность суспензии в процессе ее фильтрации концентрируется в твердой части. Было установлено, что выравнивание концентраций урана изотопа  $U_{238}$  в исходных и очищенных растворах произошло при пропускании через установку около 700 колоночных объемов, после чего подача рафинатов на очистку была прекращена. При этом вплоть до момента прекращения пропускания растворов через установку смола S957 продолжала сорбировать изотоп  $Th_{232}$ , поскольку его содержание в элюатах за все время работы установки составило ниже предела обнаружения аналитической методики его определения. Анализ значений удельной активности входящих и выходящих растворов показал, что в большинстве случаев использование смолы обеспечивает снижение удельной альфа-активности растворов примерно на порядок. Для определения остаточной удельной активности растворов после фильтрации осадков две усредненные пробы осветленной части суспензий, полученных при нейтрализации рафинатов и элюатов, были подвергнуты глубокому упариванию до влажных солей и далее высушены до полного удаления остатков влаги и кристаллизационной воды. Удельные активности осветленной части и осадка  $Ca(NO_3)_2$ , полученных при обработке растворов после сорбционной доочистки, лишь в незначительной степени меньше аналогичных величин для исходных рафинатов. Это говорит о том, что основное перераспределение активности происходит на стадии нейтрализации растворов оксидом кальция, когда основная её часть концентрируется в твердой части суспензий.

Полученные данные по сорбционной емкости смолы S957 по изотопам  $U_{238}$  и  $Th_{232}$ , а также распределению удельной альфа-активности в процессе отверждения рафинатов будут использованы при

рассмотрении различных вариантов переработки радиационно загрязненных жидких сред в ПАО «МСЗ», к которым в том числе относятся азотнокислые экстракционные рафинаты.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА ПРОИЗВОДСТВА МОКС-ТОПЛИВА ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА №4 БАЭС

А.А. Пастухов, С.И. Бычков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

В настоящее время десятки легководных реакторов в мире работают на частичной загрузке МОКС-топливом. Применение МОКС-топлива значительно повышает эффективность сырьевых топливных ресурсов атомной энергетики. Наилучшим образом это достигается при использовании МОКС-топлива в реакторах на быстрых нейтронах. Использование реакторов на быстрых нейтронах позволит замкнуть ядерный топливный цикл.

В конце 2014 года на ФГУП «ГХК» (г.Железногорск Красноярского края) создан единственный в России уникальный комплекс по производству тепловыделяющих элементов (ТВЭлов) и тепловыделяющих сборок (ТВС) с МОКС-топливом (таблетированным  $UO_2$ - $PuO_2$ -топливом) для реакторов БН-800 четвертого энергоблока БАЭС.

Технологическая схема по производству ТВЭлов на основе МОКС-топлива включает следующие этапы:

1. Подготовка трубчатых оболочек и комплектующих ТВЭлов;
2. Подготовка экранного столба, который состоит из таблеток низкообогащенного диоксида урана;
3. Снаряжение топливом и комплектующими, герметизация ТВЭлов;
4. Контроль качества ТВЭла;

В технологии изготовления ТВЭлов используется уникальное оборудование, впервые разработанное и изготовленное на отечественных предприятиях.

Отличительной технологической особенностью данного вида производства является применение автоматизированной системы дистанционного управления, а также способ размещения оборудования в герметичных изолированных камерах и перчаточных боксах для обеспечения радиационной безопасности обслуживающего персонала. Внедрение полностью автоматизированной системы управления технологическим процессом накладывает дополнительные требования в решении вопросов по обеспечению эффективности производства и снижению процента брака.

Для этих целей на этапе реализации проекта производства МОКС-топлива были предложены и осуществлены идеи по оптимизации процесса изготовления ТВЭл.

Результатом оптимизация ключевых стадий изготовления ТВЭл с МОКС-топливом равно, как и отличительной чертой данного производства, стало:

- переход от паллетного способа подачи топливных таблеток в оболочку, использующегося при производстве урановых ТВС, к применению автоматизированного штока, что снижает риск загрязнения поверхности ТВЭлов, образования сколов на поверхности таблеток и, соответственно, уменьшает процент бракованных ТВЭлов;

- для обеспечения камерного размещения оборудования и уменьшения площади, занимаемой оборудованием, реализованы технические решения по снаряжению оболочек ТВЭл комплектующими и

топливными таблетками с применением барабанного оборудования револьверного типа;

- процесс навивки и приварки дистанционирующей проволоки стал полностью автоматизированным, включая измерение угла приварки проволоки и приварку проволоки к нижней и верхней заглушкам твэла.

Требования к выпускаемому твэлу строго регламентируются техническими условиями, в т.ч. к такому важному параметру как степень герметичности. Данный параметр обеспечивается качеством приварки заглушки верхней к твэлу.

В связи с этим на стадии отработки технологических режимов оборудования проведены исследования по поиску оптимального (при постоянстве остальных параметров) режима работы установки приварки верхней заглушки к оболочке твэла и герметизации. Работы выполнялись на имитаторах твэла, конструктивно соответствующих проектному твэлу.

В процессе отработки технологических режимов был определен наиболее оптимальный режим аргонодуговой сварки, при котором качество сварного шва, по результатам металлографии, удовлетворяет техническим условиям на твэл. Сила тока – 120÷160 А, время сварки – 1,5÷2,5 сек.

Для нашего предприятия технология изготовления ТВС с МОКС-топливом является новой, отработка технологии изготовления твэлов и определение оптимальных режимов позволило подготовить эксплуатационный персонал к выпуску готовой продукции, что обеспечит гарантированное изготовление качественных изделий.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ СЛИТКОВ КРЕМНИЯ В РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

А. А. Сливин, И. И. Лебедев, Ю. Б. Чертков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Е-mail: [slivin-a@mail.ru](mailto:slivin-a@mail.ru)

Реактор ИРТ-Т (Исследовательский реактор типовой Томский) – это водо-водяной реактор бассейнового типа на тепловых нейтронах с использованием в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней биологической защиты дистиллированной воды. Реактор является мощным источником нейтронного и гамма-излучения и предназначен для проведения научно-исследовательских работ в области ядерной физики, физики твердого тела, радиобиологии, решения прикладных задач в области экологии и медицины [1]. Реактор ИРТ-Т успешно работает с 1967 года.

В настоящее время в его экспериментальных каналах (ЭК) в основном происходит нейтронно-трансмутационное легирование (НТЛ) кремния и получение радионуклидных изотопов для медицины. В связи с возрастанием потребностей в НТЛ кремния представляет интерес увеличение числа экспериментальных каналов в реакторе ИРТ-Т, однако из 10 горизонтальных каналов (ГЭК) и 14-ти вертикальных (ВЭК) для этих целей используется всего один горизонтальный экспериментальный канал ГЭК-4.

Условия, необходимые для проведения НТЛ в районе расположения ГЭК, позволяющие обеспечить равномерное облучение слитков кремния при существующей технологии облучения, сформулированы следующим образом [2]:

- формирование равномерного поля распределения нейтронного потока с учетом отравления

бериллиевого отражателя [3];

- плотность потока быстрых нейтронов должна быть в 20-50 раз меньше, чем плотность потока тепловых нейтронов;
- плотность потока гамма-излучения в месте расположения экспериментального канала не должна быть большой, иначе это приведет к чрезмерному нагреванию облучаемого образца;
- радиальная неравномерность НТЛ не должна превышать 2–3 %.

В работе представлены оценочные расчеты, проведенные с помощью программы TIGRIS, показывающие принципиальную возможность создания дополнительных экспериментальных каналов для НТЛ кремния в реакторе ИРТ-Т. К дополнительным экспериментальным каналам можно отнести ГЭК-1 и размещение нового ВЭК в баке с тяжелой водой. С помощью создаваемых каналов можно в 2–3 раза увеличить объем облучаемого кремния на реакторе ИРТ-Т.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варлачев В. А. и др. Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т // Томск: Изд-во ТПУ. – 2002.
2. Varlachev V. A. et al. Formation of neutron fields for radiation technologies // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2014. – Т. 552. – №. 1. – С. 012049.
3. Naymushin A. et al. Degradation of Beryllium Reflector Properties on the IRT-T Reactor // Advanced Materials Research. – 2015. – Т. 1084. – С. 289-293.

#### НАКОПЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ МИШЕНЯМИ ИЗ ПАЛЛАДИЯ И ТИТАНА

И.П. Чернов, В.В. Ларионов, А.М. Лидер

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [chernov@tpu.ru](mailto:chernov@tpu.ru)

В настоящей работе представлены результаты исследования конструктивных особенностей таблеток из титана и палладия, предназначенных для увеличения энергии дейтронов. Известно [1], что при наводораживании металлы образуют водородную подсистему, обладающую особым свойством накапливать энергию. Основными характеристиками водородной подсистемы являются ее энергия, особое состояние электронов, обнаруженное при изучении электронных спектров металлов, и десорбции водорода из них. При исследовании десорбции дейтронов из комбинированной системы в виде Pd/PdO, насыщенной дейтерием с образованием Pd/PdO:D<sub>x</sub>, и облучаемой электронами, выявлено, что энергия дейтронов увеличивается более чем на два порядка по сравнению с тепловой [1]. Дальнейшее изучение данного явления привело к необходимости разработки и создания устройств в виде таблеток, конструкция которых позволила бы увеличить энергию дейтронов, осуществлять их получение в управляемом режиме. Ранее исследовались таблетки с односторонним слоем окисла на поверхности [2] дейтерированного палладия. Толщина пленки окисла составляла 20 нм. В данном случае пластинку нагревают в кислородной среде до температуры 1200 °С. В результате нагрева при свободном доступе кислорода с обеих сторон таблетка окисляется с образованием окисла PdO<sub>y</sub>. Толщина слоя окисла составляет от 0,02 до 0,05 мкм. После окисления таблетку помещают в электролизер, снабженный двумя платиновыми анодами, и заполненный раствором LiOD. Два платиновых анода позволяют равномерно и идентично насытить таблетку дейтерием с двух сторон. Время насыщения выбирают так, чтобы объемная концентрация дейтерия в палладии или титане составляла 73 – 78 %. Облучение таблетки производят электронным пучком одновременно с двух противоположных сторон, так как в этом

случае происходит осцилляция электронной плотности дейтериевой подсистемы металла в полном объеме. По гипотезе основная роль принадлежит эффекту резонансного образования плазмонов, с помощью которых происходит накачка энергией дейтронов. Под плазмонами понимаем образование в среде (например, металле) усиленных осцилляций электронной плотности. В том случае, если слои окиси палладия создаются с двух сторон, а таблетку облучают встречными пучками, возникает эффект многократного и интерференционного усиления осцилляций электронной плотности дейтериевой подсистемы таблетки, происходит образование плазмонов в большем количестве, чем в таблетке с односторонним слоем окисла. В результате встречного неупругого столкновения внутренняя энергия дейтронов теоретически может увеличиться в 4 раза. Предлагаемый способ позволяет получать дейтроны в большем количестве и с энергией, превышающей энергию при одностороннем слое окисла. При этом необходимо исключить десорбцию дейтерия, эффективность которой может быть достаточно высокой.

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания «Наука» 0.1325.2014.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I. P. Chernov, A. S. Rusetskii, D. N. Krasnov, V. V. Larionov, B. F. Lyakhov, E. I. Saunin, Yu. I. Tyurin, Nuclear Reactions Pd/PdO:D<sub>x</sub> and Ti/TiO:D<sub>x</sub> System Exited Ionizing Radiation Journal Experimental and Theoretical Physics, 2011, Vol. 112, № 6. pp. 952–960.
2. I.P. Chernov, A. S. Rusetsky, D. N. Krasnov, V. V. Larionov, T. I. Sigfusson, Yu. I. Tyurin, Radiation-stimulated hydrogen transfer in metals and alloys Journal of Engineering Thermophysics. 2011. V. 20. № 4. pp. 360–379.

#### СОВМЕСТИМОСТЬ МАТЕРИАЛА МАТРИЦЫ И ТОПЛИВА В ДИСПЕРСИОННЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ

А.В. Чуйкина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [flipped2010@mail.ru](mailto:flipped2010@mail.ru)

В связи с развитием научно-технических и производственных мощностей, современный мир нуждается в увеличении производства электроэнергии. Ядерная энергетика — наиболее перспективный способ увеличения выработки энергии. Существующие тепловыделяющие элементы с керамическим топливом имеют существенный недостаток – низкую теплопроводность.

Решением этой проблемы может стать использование дисперсионного топлива. Это такой вид топлива, в котором частицы делящегося материала распределены по объему неделящегося материала (матрицы). Преимуществом дисперсионного топлива является высокая радиационная стойкость и теплопроводность.

Требования к материалам дисперсионных тепловыделяющих элементов такие же, как и для любых материалов в ядерной энергетике [1], к тому же очень важна совместимость материала матрицы и топлива, так как при определенных условиях эти материалы могут вступать в химические реакции, что может отразиться на свойствах этих материалов.

Для рассмотрения применимости дисперсионного топлива был выбран высокотемпературный газографитовый реактор. Для применения дисперсионного топлива в таком реакторе, необходима возможность использования твэлов в рабочих температурах реактора (примерно 1000 °С). Для этого проанализированы строение и свойства материалов при высоких температурах. В качестве материалов матрицы были рассмотрены: тугоплавкие металлы, металлы, которые используются в ядерной технике, перспективные

интерметаллические соединения и графит [2]. В качестве топлива рассмотрены диоксид, карбид, нитрид урана, а также металлический уран и уран-молибденовое топливо.

Самыми перспективными материалами для матрицы дисперсионного топлива являются алюминиды никеля [3, 4] и графит. Для алюминидов никеля в качестве топлива в высокотемпературном реакторе больше всего подходит диоксид урана, так как при рабочих температурах не происходит их взаимодействия (взаимодействие возможно при температуре 1400 °С). Для графита в рабочих температурах возможно использование любого топлива из рассмотренных, так как взаимодействие графита и материалов топлива происходит при больших температурах (примерно 2100 °С).

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Самойлов А. Г., Волков В. С. Дисперсионные твэлы: в 2т. – М.: Атомиздат, 1982 г. – 448 с.
2. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. В 6 т. Том 6. Часть 1. Конструкционные материалы ядерной техники / Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2008. – 672 с.
3. Miracle D.B., Darolia R. NiAl and its Alloys // *Intermetallic Compounds*. – 1995. – Vol. 2. – P. 55-74.
4. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем: в 4 т., т.1 – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959, 757 с.

---

# Секция 3

---

Математическое  
моделирование в  
фундаментальных и  
прикладных  
исследованиях

## SPECTRAL AND ANGULAR CHARACTERISTICS OF VAVILOV-CHERENKOV RADIATION FROM A DIALECTRIC TARGET IN THE MILLIMETER WAVELENGTH RANGE

V.V. Bleko, V.V. Soboleva

Tomsk Polytechnic University,  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
e-mail: bleko\_vitold@mail.ru

The physical nature of Vavilov-Cherenkov radiation (VCR) is considered as a dynamical polarization of the target material with macroscopic permittivity  $\varepsilon$  by an electron electromagnetic field, followed by the propagation of this excitation in a target with velocity  $v = c/n$ , where  $c$  is the speed of light in vacuum,  $n$  is a refractive index. For a medium of infinite size the Cherenkov emission is confined to the surface of cone with the cone half-angle  $\theta_{Ch}$  (the angle between a direction of observation and the electron trajectory) which is defined by the well-known condition  $\cos\theta_{Ch} = 1/n\beta$ , where  $\beta$  is the electron velocity in units of  $c$ .

On the other hand, for relativistic electrons the characteristic transverse dimension of the electromagnetic field  $\gamma\lambda$  ( $\lambda$  is the radiation wavelength,  $\gamma$  is the electron Lorenz-factor) has macroscopic scale. Hence, the VCR can appear when an electron traveling in the vicinity of a dielectric target. This fact was theoretically investigated in papers [1-4] and experimentally confirmed in the work [5].

For the non-invasive beam diagnostics of modern accelerators is more preferred the radiation geometry without direct interaction of the electron beam with the target. Therefore, in this paper we experimentally investigated the characteristics of VCR produced by the motion of the electron beam near the Teflon triangular prism.

The measurement spectral dispersion of the target material in the millimeter wavelength range, we used an interferometer with separation of the radiation flux at the two reflecting plates. Using the inverse Fourier transforms of interferograms, the radiation spectra were calculated. The result obtained in our experiment indicated that in considered geometry the Teflon target has spectral-angular dispersion. This fact we can use to construct the radiation spectrum and measuring the coherence threshold of VCR which are necessary to measure of electron bunch length.

### REFERENCES

1. Bolotovskii B. M., Sov. Phys. Usp. 4 (1971) 781.
2. Takahashi T., Oyamada M., Kondo Y., et al., Phys. Rev. E 62 (2000) 8606.
3. Potylitsyn A. P., Popov Yu. A., Sukhikh L. G., et al., J. Phys.: Conf. Ser. 263 (2010) 012025.
4. Shevelev M.V., Konkov A.S., JETP 118 (2014) 501.
5. Naumenko G. A., Potylitsyn A. P., Shevelev M. V., Popov Yu. A., JETP Letters 94 (2011) 258.

## MEAN TIME OF PERFORMANCE FOR PERISHABLE ITEMS

Yu.I. Galanov<sup>1</sup>, A.V. Kitaeva<sup>2</sup>, N.V. Stepanova<sup>3</sup>, U. Jakubowska<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Tomsk Polytechnic University,

30, Lenina avenue, Tomsk, 634050, Russia .

<sup>2</sup>Tomsk State University,

36, Lenina avenue, Tomsk, 634050, Russia .

<sup>3</sup>Altai Economics and Law Institute,

108, Krasnoarmeiskaya avenue, Barnaul, 656015, Russia.

<sup>4</sup>Wrocław University of Technology,

Poland.

e-mail: <sup>a</sup>galanovyi@tpu.ru

Managing inventory of perishable or deteriorating items has received considerable attention in recent years; see a review by Bakker, Riezebos and Teunter [1]. Besides food products perishable inventory control covers also the behavior of radioactive materials (highly perishable goods).

Consider the following model. Let the number of independent demands  $n \gg 1$  during a time period  $T$  be a stationary process with expectation  $E\{n\} = m_T$  and variance  $Var\{n\} = \sigma_T^2$ . For example, for stationary Poisson process with intensity  $\lambda$  the mean number and the variance of the number of demands are  $m_T = \sigma_T^2 = \lambda T$ . Demands values are assumed to be independent identically distributed non-negative random variables with finite first and second moments equals respectively  $a_1$  and  $a_2$ . The items deteriorate continuously: at time interval  $[t, t + \Delta t]$  an item deteriorates with a probability  $p = \kappa \Delta t + o(\Delta t)$  where  $\kappa$  is a deterioration rate coefficient per stocked item. We consider the diffusion approximation of the deterioration process  $x(\cdot)$  with drift and variance equals  $\kappa x(\cdot)$ , and the diffusion approximation of the inventory level  $Q(\cdot)$  satisfies the equation  $dQ(t) = -(\kappa Q + m_0)dt + \sqrt{\sigma^2 + \sigma_0^2}dw_t$ , where  $m_0 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{a_1 m_T}{T}$ ,

$$\sigma_0^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{m_T (a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2}{T}.$$

Diffusion methods have been applied to inventory models in a variety of domains to begin with the papers by Bather [2] and Puterman [3]. The analogous diffusion approximation has been used by Kitaeva and Stepanova in [4]. Let  $T(Q)$  be a mean of the product's remaining lifetime at the beginning of the production cycle  $T$  given that the initial inventory level is equal to  $Q$ . We derive the differential equation for  $T(Q)$ , and its asymptotic solution under  $Q \gg 1$  is proposed.

To check the theoretical result we conduct the numerical simulation. The results of simulation and the relative mean square errors are given for normal and uniform batch size distributions for different lot sizes' values.

## REFERENCES

1. M. Bakker, J. Riezebos, R.H. Teunter, Review of inventory systems with deterioration since 2001, Eur. J. of Operational Res. 221(2) (2012) 275-284.
2. J.A. Bather, A Continuous Time Inventory Model, J. of Appl. Probability. 3 (1966) 538-549.
3. M. Puterman, A diffusion process model for a storage system, in: M.A. Geisler (Ed.), Studies in the Management Sciences, Logistics, I, North-Holland Press, Amsterdam, 1975, pp. 143-159.
4. A.V. Kitaeva, N.V. Stepanova, Linear On/Off Inventory Control, Proceedings ASMDA2013. (2013) 497-504. Information on [http://www.asmda.es/images/1Proceedings\\_ASMDA\\_2013\\_K-M.pdf](http://www.asmda.es/images/1Proceedings_ASMDA_2013_K-M.pdf)

**RESUMMATION OF DIVERGENT PERTUBATION SERIES. APPLICATION TO CALCULATIONS OF VIBRATIONAL ENERGY SPECTRUM OF DIFFERENT MOLECULES.**

A. N. Duchko<sup>1,2</sup>, A.D. Bykov<sup>2</sup>, M. Saqib<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics and Technics, National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, 30, Lenina street, 634050, ,

<sup>2</sup>Laboratory of Theoretical Spectroscopy, V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Russia, Tomsk, Akademician Zuev square, 634021

E-mail: [andrey.duchko@gmail.com](mailto:andrey.duchko@gmail.com) [adbykov@rambler.ru](mailto:adbykov@rambler.ru)

In this research high-order Rayleigh-Schrödinger perturbation theory (RSPT) is applied to the calculation of the vibrational energy spectrum of HDO, H<sub>2</sub>O and H<sub>2</sub>CO molecule within a simple model of quartic force field. It is well-known that perturbation series generally diverge. Our calculations confirm the rapid divergence of RSPT series. As it is shown on graph 1, 100-th term of RSPT series is approximately equal to 10 raised to power 42.

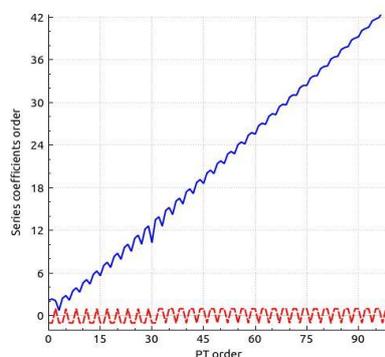


Figure 1. The order of RSPT series. (001110) H<sub>2</sub>CO state

Despite the bad behavior of RSPT series, this approach turns out to be promising for studying polyatomic molecules. The RSPT series expansions (even divergent) exhibit hidden properties that indicate at the possibility of their computation by making use of the resummation methods for divergent series such as high-order Hermite-Pade approximants. Graph 2 shows true significant digits of calculated energy level for (001110) H<sub>2</sub>CO state.

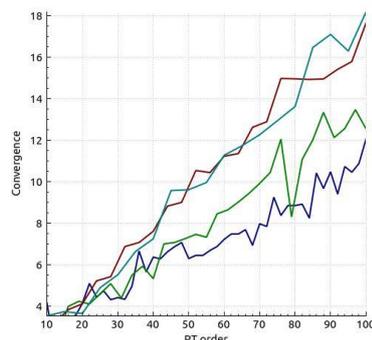


Figure 2. Convergence of Pade-Hermite methods. (001110) H<sub>2</sub>CO state

The aim of this study is to probe these methods on the models, which are close to real polyatomic molecules and reflect their specific properties, yet relatively simple for numerical implementation. Numerical analysis of the high-order RSPT series for the H<sub>2</sub>CO vibrational states have been performed using high-order Hermite-Pade approximants. All calculations have shown that for convergent and divergent RSPT series Hermite-Pade approximants are in a good agreement with the variational calculations.

## MODELLING OF FREE POSITRON STATES IN TiH<sub>x</sub>

<sup>1</sup>O.N. Imas, I.Yu. <sup>2</sup>Karataeva

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050

<sup>2</sup> National Research Tomsk State University,

Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 36, 634050

E-mail: [onm@tpu.ru](mailto:onm@tpu.ru)

Electron energy structure, positron spectrum and positron characteristics of  $\alpha$ -Ti and  $\alpha$ -TiH<sub>0.125</sub> were calculated. Self-consistent calculations of the band structure were performed by the linear muffin-tin orbital method in the atomic sphere approximation. Modelling has been made on low content of hydrogen into  $\alpha$ -Ti with expanded close-packed hexagonal cell inclusive 8 titanium atoms. Only one octal pore (1/4;  $\sqrt{3}/12$ ; c/4) was located with hydrogen and others were filled up empty spheres (zero electron density). Variation of sphere radiuses permitted to consider anisotropy and spherical symmetry of potential. The positron states problem have been solved on basis of two-component density functional theory [1]. Positron potential and positron wave function were calculated on a base of self-consistent electron density. Then positron probability of existence into TiH<sub>x</sub> lattice and lifetime were founded.

There are positron characteristics in table 1. Variation of atomic sphere radiuses leded to charge repartition in cell. The absolute value of free-positron lifetime obtained were in satisfactory agreement with the experimental (150 ps) [2]. But the tendency of increase of the free-positron annihilation mean life with hydrogen atom introduction has not displayed via calculation. The experiment had shown «swelling» of Titanium sample because of hydrogen absorption. So as rough to estimate that the positron characteristics of cubic TiH<sub>1.0</sub> were calculated. It was shown positron was redistributed significantly in to the hydrogen centers area, free positron life increased, but the charge changed insignificantly in hydrogen sphere.

Table 1. Positron lifetime  $\tau$ (ps), probability of positron distribution  $W$  (%) to atomic spheres ( $S$ ), electron charge  $Q$  (el.) into atomic spheres and probability of electron-positron annihilation  $\omega$  (%)

	$\alpha$ -Ti	$\alpha$ -TiH <sub>0.125</sub>			$\alpha$ -TiH <sub>0.125</sub>			SIC-TiH <sub>1.0</sub>		
$\tau$ (ps)	158.1	154.5			149.8			163.5		
atomic radius (a.u.)	3.0532	$R_{Ti}=R_H=R_E=2.4233$			$R_{Ti}=2.800$ $R_H=R_E=1.867$			$R_{Ti}=R_H=R_E=2.0656$		
atomic sphere	Ti	Ti	H	E	Ti	H	E	Ti	H	E
$W$ (%)	100	32.25	4.90	62.85	59.87	1.93	38.20	10.05	23.72	66.23
$\omega$ (%)	100	42.19	5.35	52.46	64.79	2.24	32.97	16.68	27.97	55.35
$Q$ (el/at)	22	20.47	2.48	1.48	21.28	1.35	0.75	19.68	1.64	0.84

## REFERENCE

1. E.B. Boronski, R.M. Nieminen. Electron-positron density-functional theory// Phys.Rev.B –1986.– V.34.– P.3820.
2. K.P.Arefev, O.V.Boev, O.N.Imas, A.M.Lider, A.S.Surkov, I.P.Chernov Annihilation of positrons in hydrogen-saturated titanium // Physics of the Solid State. – 2003. – T. 45. – № 1. – P. 1-5.

## THRESHOLD PROCESSES IN TECHNICAL SYSTEMS WITH URANIUM AND THORIUM

V.V Knyshev, S.V Bedenko., S.V Gritsyuk

National Research Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: [vyk28@tpu.ru](mailto:vyk28@tpu.ru)

Accuracy of neutron and fuel composition nucleus interaction cross-section estimation is a prime consideration for secure evaluation of the uranium-thorium NFC effectiveness. Currently, there are many diverse experimental and theoretical nuclear data. They are completely represented in the following libraries of evaluated nuclear data – ENDF (USA), JEFF (Europe), JENDL (Japan), TENDL (RF), ROSFOND (RF).

However, information about threshold neutron reactions on  $^{232}\text{Th}$  nuclei is practically absent at all subsisting and valuated nuclear data basis but available values of efficiency and profile differ from arrangements.

In the work the results of resources and numerical experiments are quoted. These results are focused on the determination of the nuclear physics and radiation characteristics of core and thorium storage system. Requirement for correction of nuclear constant which is used in calculation for core and thorium storage system criticality is shown.

The research was supported by the Council of the Russian Federation President. Competition for the title to receive the Russian Federation President scholarship for young scientists and graduate students. Grand № SP-295.2015.2.

### REFERENCES

6. Shiroya S., Kudo K. Criticality Analysis of Highly Enriched Uranium/Thorium Fueled Thermal Spectrum Cores of Kyoto University Critical Assembly // PHYSOR 2004 -The Physics of Fuel Cycles and Advanced Nuclear Systems: Global Developments. - Illinois: American Nuclear Society, 2004.
7. Shamanin I.V., Ukhov A.A., Rutten H.-J., Haas K.A., Sherer W. The Use of (Th,U,Pu)O<sub>2</sub> Fuel in a Water Water Energy Reactor: Physics and Fuel Cycle Simulation by means of the V.S.O.P. (97) Computer Code // Forschungszentrum Julich. FZJ –ISR – IB – 1/1999. – 40 p.
8. Abramovich S.N., Gorelov V.P., Gorshihin A.A. and others. The database for the numerical modeling the accumulation of splinters in the fuel from power reactors // Problems of Atomic Science and Technology. Mathematical modeling of physical processes. 1996, №3, pp.40–61.
9. Shamanin I.V. Consequences caused by differences between the structures of the resonance absorption region of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  // Alternative Energy and Ecology. 2006, № 11 (43), p. 47–53.

## SIMPLE PHYSICAL MODELS IN PRACTICAL APPLICATIONS FOR NEW ENGINEERING

### TASKS

V. Mikhaylov<sup>1,2,3</sup>, V. Kushpil<sup>2</sup>, S. Kushpil<sup>2</sup>, S.N. Liventsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin Avenue 30, 634050

<sup>2</sup>Nuclear Physics Institute, Academy of Sciences of Czech Republic,

Czech Republic, 250 68 Řež,

<sup>3</sup>Czech Technical University in Prague,

Czech Republic, Prague, 166 36

E-mail: [mvserg@yandex.ru](mailto:mvserg@yandex.ru)

There is a traditional opinion that modern physics can evolve only by using more and more complex mathematical and physical models. In practice, this often appears as division of a single common problem to multiple small problems with complex description. In this case, complete picture of actual process can be lost in a huge amount

of practically unimportant details. Sometimes the simplified description is better, when more understandable global description is more preferable compared with more precise, but also more complex for understanding physical models. We describe a few simple models that can be applied in the practical engineering to understand the basic behavior of modern semiconductor devices.

Various types of detectors with internal amplification of weak signals produced by ionizing radiation are used in modern physical experiments. There is a large class of gaseous detectors and presently widely used semiconductor avalanche photo detectors (APDs) [1]. Avalanche physical processes in semiconductors are more complex to describe and understand compared with simple Tungsten model for avalanche in gaseous detectors. However, it is not necessary to solve the fundamental system of partial differential equations to understand the processes in this type of detectors. Well known by radio engineers common conception of feedback can be applied for simple description of such a complex system [2]. Simple feedback model can be used for the classification of different types of modern APDs and for description of its internal processes. Simple “Logistic” model is applied to explain how the rising time of avalanche depends on the probability of avalanche occurrence in the APD. To understand how carriers generation-recombination processes are affected by traps created during irradiation and self annealing in semiconductors, one can apply a simple model based on assumption of a single traps level and a single lifetime of carriers on this level [3]. Interpretation of results obtained for a few types of commercial APDs is presented. Example of method of the detector noise introduction applied to the detector SPICE model is discussed. In addition, simple SPICE model describing gain coefficient and applicable for transient analysis of APD is proposed.

#### REFERENCES

1. Kushpil V. Avalanche Process in Semiconductor Photo Detectors in the Context of the Feedback Theory / Chapter 10 in book "Photodetectors" edited by Sanka Gateva, – InTech Publisher, 2012. – 470 p.
2. Kushpil V.V. Application of simple negative feedback model for avalanche photodetectors investigation// Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2009. – N. 610. – P. 204–206.
3. Kushpil V., Mikhaylov V., Kushpil S., Tlustý P., Svoboda O., Kugler A. Radiation hardness investigation of avalanche photodiodes for the Projectile Spectator Detector readout at the Compressed Baryonic Matter experiment // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2014. – doi:10.1016/j.nima.2014.11.071.

#### FINANCIAL INSTRUMENTS PORTFOLIO OPTIMIZATION

M.K. Moshenetc

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin Avenue 30, 634050

E-mail: mari.moshenets@mail.ru

Nowadays investment of money is one of the most popular ways of income acquisition. One of the most urgent tasks of financial investment is analysis and prediction of expected profit and risks. Due to this, analysis and prediction of expected profit and risks suffered by an investor in the course of portfolio management is becoming topical as well.

The foundation of portfolio investment is allocation of investment money between various groups of assets, since it is impossible to predict fulfillment of two conditions at the same time: high reliability and maximum yield. Depending on the tasks and objectives, investors analyze the stock market situation and reasons that influence the stock price. The process of portfolio construction implies indicating the most appropriate portfolio structure for a certain type of securities; the percentage ratio of financial instruments is defined as well. Therefore, a portfolio represents a set of financial instruments integrated for implementation of investor's purposes, profit growth and mitigation of damages.

In order to avoid excess risk, investors will struggle to minimize the yield standard deviation by diversifying the capital between different objects of investment. In this case, the risk is reduced since the portfolio yield standard deviation is less than average weighted standard deviations of the securities that make up this portfolio.

#### REFERENCES

1. A.S. Dorokhina “Construction of Optimal Markowitz Securities Portfolio” Tomsk: TPU Publishing House, 2008. — P. 243-244.
2. Website [<http://www.dissercat.com/content/formirovanie-portfelya-tsennykh-bumag-na-osnove-prognoznykh-otsenok-dinamiki-neodnorodnogo-r>]
3. Website [[http://www.gumer.info/bibliotek\\_Buks/Econom/kolt/12.php](http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Econom/kolt/12.php)]
4. William Forsyth Sharpe. Investments. - Moscow: Infra-M Publishing House, 2006. – 1041 p.
5. O. A. Belsner, O. L. Kritski “Financial Instruments Portfolio Optimization” Tomsk: TPU Publishing House, - P. 2-5.

### ОДНОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ МИКРОВОЛНОВОЙ ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ ПЛАЗМЫ

#### ТОКАМАКА КТМ

Ю.Ю. Ан, А.В. Шарни, Л.А. Лобес

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [uvenus@mail.ru](mailto:uvenus@mail.ru)

Метод микроволновой импульсной рефлектометрии плазмы используется на установках управляемого термоядерного синтеза типа токамак для нахождения распределения плотности электронов [1]. При практической реализации метода требуется решить некорректную обратную задачу нахождения профиля плотности электронов по результатам прямых измерений времени пролета. Для разработки и проверки алгоритмов решения некорректной обратной задачи необходимо использовать математическую модель, описывающую решение прямой задачи импульсной рефлектометрии плазмы (ИРП) и адекватную экспериментальным данным. Проверка адекватности с использованием данных натурального эксперимента ИРП в настоящее время не осуществима, потому что на токамаке КТМ еще не получена плотная плазма.

Возникает проблема априорного выбора требований к модели по соотношению признаков «полнота описания» и «сложность реализации». В настоящей работе сделан выбор в пользу минимизации требований к сложности реализации, предусматривающий развитие уже апробированных на токамаках одномерных моделей ИРП, основанных на использовании приближения геометрической оптики и описания плазмы как плоскостистой среды [2].

Полученные в рамках указанного подхода решения развиты и адаптированы для КТМ. Уточнены требования к минимально приемлемой полноте и точности описания моделируемой системы. Синтезирована и верифицирована одномерная модель импульсной рефлектометрии плазмы. Поставлена и предварительно исследована задача и принципы использования модели при синтезе алгоритмов обработки данных ИРП токамака КТМ. Показаны преимущества и ограничения представленной модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров В.Г., Петров А.А., Малышев А.Ю. и др. Времяпролетные измерения плотности плазмы на токамаке Т-11М. Физика Плазмы, 2006, том 32, № 4 С. 346-351.
2. Shevchenko V. F., Walsh M. J., First results from the small tight aspect ratio tokamak multifrequency pulse radar reflectometer, Review of Scientific Instruments. 1997. Т. 68. № 5. С. 2040-2045.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩЕЙ ПРИМЕСИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ОЦЕНОК СКОРОСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ОСЕДАНИЯ ЧАСТИЦ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.О. Бабичева, Е.А.Покровская, Н.К. Рыжакова, А.Л.Борисенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [valentina\\_babich@mail.ru](mailto:valentina_babich@mail.ru)

Для изучения и планирования пространственного распределения загрязнений в атмосферном воздухе широко используется метод математического моделирования. Широкое признание получила диффузионно-конвективная модель переноса загрязняющей примеси, одним из основных параметров переноса которой является скорость гравитационного оседания частиц выбросов промышленных предприятий  $V_g$ [1]. Известные способы определения величины  $V_g$  основаны на седиметрическом принципе – скорость и время оседания частиц различной массы под действием сил гравитации или других инерциальных сил неодинаковы. В соответствии с методиками измерения оседание частиц происходит либо в неподвижной диспергирующей среде, либо в направленно движущемся с большой скоростью пылегазовом потоке [2], что не позволяет корректно учесть аэродинамические свойства частиц, движущихся в турбулентной атмосфере.

В данной работе предлагается определять  $V_g$  на основе математического моделирования переноса частиц выбросов в атмосферном воздухе и измерения функции распределения концентрации загрязняющих веществ вдоль какого-либо направления от точечного высотного источника загрязнения. Исследование проведено с помощью мхов-биомониторов, для которых время экспозиции составляет 1...10 лет. Очевидно, содержание химических элементов, накопленных за время экспозиции во мхах, пропорционально их содержанию в атмосферном воздухе, поэтому зависимость для концентраций химических элементов во мхах и для концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе имеет один и тот же аналитический вид. Поэтому измеренные распределения аппроксимируются методом наименьших квадратов известным решением полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии, полученным для точечного источника при степенной аппроксимации скорости ветра и вертикального коэффициента турбулентной диффузии[3]. Предложенный в данном исследовании метод апробирован на двух точечных источниках загрязнения – угольной ТЭЦ и алюминиевом заводе. Полученные значения скорости гравитационного оседания не противоречат известным данным о дисперсном составе выбросов данных предприятий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.Е. Берлянд. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 272 с.
2. П.А. Коузов, Л.Я. Скрыбина. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л.: Химия. 1983. – 131 с.
3. Н.К. Рыжакова, В.Ф. Рапуга, Н.С. Рогова, А.Л. Борисенко, Е.А. Покровская. Пространственное распределение химических элементов атмосферных выбросов угольной ТЭЦ // Экология и промышленность России. - 2013 - №. 1. - С. 52-55.

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ НА ВНУТРЕННИХ ГРАНИЦАХ ГАЗОСБОРНОЙ СЕТИ ГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА

В.М. Белов<sup>1</sup>, В.В. Жаровцев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: [bvm@tpu.ru](mailto:bvm@tpu.ru)

Газосборная сеть газового промысла (ГССГП) это система труб различного диаметра с такими неоднородностями (местными сопротивлениями), как задвижки, повороты, отводы, подводы и т. п. Штатными в ГССГП являются стационарные режимы течения. Нестационарные течения возникают во время перехода с одного стационарного режима на другой, когда на каком-либо участке сети давление газа в результате аварии или по технологическим причинам падает либо возрастает. Всю ГССГП можно разбить на прямолинейные участки труб постоянного диаметра, которые ограничены либо двумя внутренними, либо одной внутренней и одной внешней границей.

Сложность расчета параметров среды в ГССГП состоит в том, что в окрестностях местных сопротивлений (МС) течение газа пространственное, а на прямолинейных участках – одномерное. Рассчитывать всю задачу в пространственной постановке не имеет смысла ввиду больших затрат машинного времени. Поэтому ниже применен известный в механике прием: более сложная часть задачи заменена эквивалентной в некотором смысле исходной, но более простой задачей. Более простая задача решается с наперед заданной точностью.

Рассматриваемый в данном докладе подход к расчету параметров среды на внутренних границах ГССГП базируется на методике решения широкого класса обобщенных задач о распаде произвольного разрыва в системах каналов сложной геометрии, предложенной в работах [1-3]. Данная методика применима, вообще говоря, для произвольных значений входных физических параметров задачи, таких, как давление, плотность, скорость, число Маха и т. п. и ее геометрических параметров, характеризующих местное сопротивление в узлах стыковки каналов. В случае ГССГП существенным упрощающим фактором является отсутствие сверхзвуковых режимов течения газа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дулов В.Г., Павлов С.В., Яушев И.К. Обобщенная задача о распаде разрыва и ее приложения / Новосибирск: Препринт ИТПМ СО АН СССР, № 10-85, 1985. – 28 с.
2. Белов В.М. Параметрическое исследование решений и построение алгоритмов и программ расчета некоторых обобщенных задач о распаде произвольного разрыва: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук. – Томск, 2006. – 24 с.
3. Павлов С.В., Яушев И.К. Задача о распаде произвольного разрыва параметров газа в разветвленных каналах // в кн.: Численный анализ: Сб. научных трудов. – Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР, 1978. С. 75–82.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОСМИЧЕСКОГО СПЕКТРА ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.И. Беспалов, В.М. Зыков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [bvi@tpu.ru](mailto:bvi@tpu.ru)

Для проведения радиационных испытаний элементов космических аппаратов в условиях адекватных натурным условиям, необходимы источники электронов с соответствующим спектром. Электронные спектры, которые генерируют ускорители в лабораторных условиях (LAB спектры) существенно отличаются от космического (SPACE) электронного спектра. Необходимую форму электронного LAB спектра можно получить, пропуская пучок электронного ускорителя через сложную мишень переменной толщины. Для определения геометрии такой мишени необходимо иметь набор элементарных дифференциальных электронных спектров для простых однородных мишеней разных толщин [1].

Методом Монте-Карло с помощью программы «Компьютерная лаборатория» (PCLab) [2] проведены расчеты элементарных электронных спектров, на основе которых определена геометрия сложной мишени для моделирования высокоэнергетической части SPACE спектра (0,3–3,5 МэВ) с помощью электронного пучка электронов от сложной фольги и SPACE спектра электронов линейного ускорителя ЭЛУ-4.

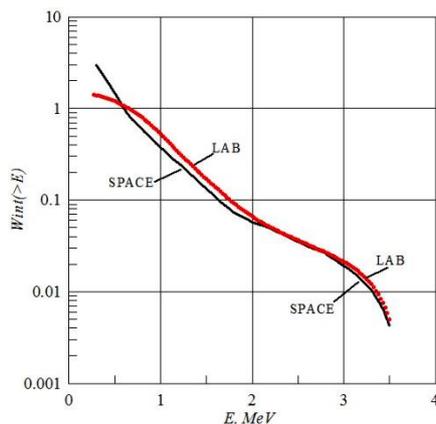


Рисунок 1. Сравнение интегрального LAB спектра

Электронный пучок со средней энергией 4 МэВ и полушириной 0,4 МэВ после прохождения выводной фольги ЭЛУ-4 (30 мкм Ti) и слоя воздуха 50 см падал на Al мишень, толщина которой изменялась от 1 мм до 7 мм. Дифференциальные элементарные спектры электронов рассчитывались на расстоянии 30 см от мишени в цилиндрической области радиусом 20 см. Затем в специальной программе подбирались вклады элементарных спектров в результирующий LAB спектр, чтобы обеспечить необходимое энергетическое распределение электронов. На рис. 1 сравниваются плотности распределения интегральных SPACE спектра электронов и результирующего LAB спектра, полученного из набора 7 элементарных спектров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dirassen B., Lery L., Reulet R., Payan D. The SIRENE facility – an improved method for simulating the charge of dielectrics in a charging electron environment. Proceedings of the 9th International Symposium on Materials in Space Environment : 16-20 June 2003, Noordwijk, The Netherlands. P. 351–358.
2. Беспалов В.И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие. – 5-е изд. доп., – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 427 с.

## МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОГНОЗА

Р.В. Бозняков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [romario1131@bk.ru](mailto:romario1131@bk.ru)

Математическое моделирование данных является крайне важным и полезным инструментом проведения различных исследований, динамики различных процессов. При моделировании различных процессов необходимо учитывать и анализировать определенные составляющие, которые влияют на построенную модель, ее качество и получаемый прогноз [1].

В работе будет описана методика изучения временных рядов и построения математической модели из класса линейных моделей, с помощью которой можно получить краткосрочный прогноз. Для построения модели временного ряда предложен следующий алгоритм:

1. Сформировать временной ряд из исходных данных.
2. Проверить построенный временной ряд на нормальность и стационарность. Для проверки на нормальность можно применить критерии Колмагорова–Смирнова, Шапиро-Вилка, хи-квадрат. Для проверки на стационарность рассмотреть автокорреляционную и частную автокорреляционную функции, затем применить параметрические тесты (Стьюдента, Фишера).
3. Построить линейную модель данного временного ряда на основе проведенного анализа.
4. Исследовать остатки полученной модели на нормальность и наличие выбросов.
5. Построить краткосрочный прогноз на основе полученной модели для исследуемого временного ряда.
6. Сравнить результаты полученного прогноза с историческими данными, а также с применением альтернативных моделей.
7. Сделать выводы по результатам, полученным в ходе исследования временного ряда.

Для апробации предложенного алгоритма был исследован процесс изменения цен акций ОАО «Сбербанк» в период с 03.02.2014 по 02.02.2015 (251 наблюдение). Показано, что временной ряд подчиняется нормальному распределению, является нестационарным интегрируемым первого порядка временным рядом. Для данного ряда построена модель  $ARIMA(2,1,2)$ . Из исследования остатков модели можно сказать об адекватности и качестве модели. На основе модели был построен прогноз на три периода вперед, в котором отклонение прогноза от фактических данных укладывается в интервал шириной 2,2% от текущей цены актива. В качестве альтернативной модели была построена модель  $GARCH(1,1)$ , которая подтверждает высокое качество построенной линейной модели  $ARIMA(2,1,2)$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эконометрика: лабораторный практикум: учебное пособие / Н.И. Шанченко. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 117 с.

## О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ

Б.В. Бошнятов<sup>1,2</sup>, К.Н. Жильцов<sup>1</sup>, И.М. Тырышкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики ТГУ

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, стр.27, 634050

<sup>2</sup> Институт прикладной механики Российской Академии наук,

Россия, г. Москва, Ленинградский пр., 7, 125040

E-mail: [bosbosh@iam.ras.ru](mailto:bosbosh@iam.ras.ru)

Огромные волны цунами, которые неожиданно обрушиваются на прибрежные города морей и океанов, являются одним из наиболее опасных и катастрофических явлений природы. Изучать волну цунами в натуральных условиях практически не представляется возможным. Поэтому широко используют аналитические методы исследования [1], а также методы численного (компьютерного) моделирования [2]. Создание физических моделей волн цунами в наземных установках, как правило, связано с созданием крупномасштабных и дорогостоящих сооружений, размером до 200 и более метров [3].

В работе рассмотрена возможность моделирования волн цунами в лабораторной установке относительно небольших размеров (около 15 м длиной), на основе использования высокоточных методов измерения амплитуды волны [4], выбора критериев подобия, пригодных для описания более узких классов течений, экспериментально и численно обоснованных областей автомодельности соответствующих критериев подобия [5-7]. Исследования проводились комплексным методом: все эксперименты сопоставлялись с данными численного моделирования, на основе полных уравнений Навье-Стокса. Наблюдается очень хорошее совпадение экспериментальных и численных результатов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-04097 А.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овсянников Л.В., Макаренко Н.И., Налимов В.И и др. Нелинейные проблемы теории поверхностных и внутренних волн. - Новосибирск: Наука, 1985. - 318 с.
2. Шокин Ю.И., Чубаров Л.Б., Марчук Ан. Г., Симонов К.В. Вычислительный эксперимент в проблеме цунами. - Новосибирск: Наука СО, 1989. - 168 с.
3. NCKU - Super Wave. [Интернет-портал]. URL: Flume <http://www.fp7-marinet.eu/NCKU-super-wave-flume.html>
4. Пат. 2485452 РФ. МПК G01F 23/18. Устройство измерения уровня воды / Б.В. Бошнятов, Ю.К. Левин, В.В. Попов. Заявлено 07.10.2010; Опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17. – 9 с.
5. Бошнятов Б.В., Попов В.В. Экспериментальные исследования взаимодействия волн типа цунами с подводными преградами // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2012. - Т. 55. - № 9/3. - С. 145-150.
6. Бошнятов Б.В., Лисин Д.Г. Численное моделирование волн типа цунами в гидродинамическом лотке // Вестник Томского государственного университета // Математика и механика. - 2013. - № 6(26). – С. 45-55.
7. Бошнятов Б.В. О подавлении волн цунами подводными преградами // ДАН. - 2013. - Т.452. - № 4. -С. 392 – 395.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ РАФИНИРОВАНИИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Н.С. Брыляков, С.Н. Ливенцов

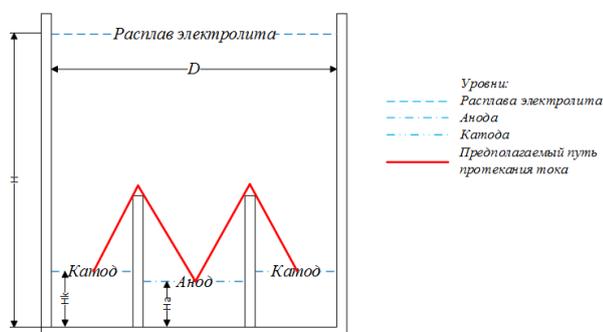
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [363293@gmail.com](mailto:363293@gmail.com)

В связи с низким процентом выгорания урана и наработкой плутония в ядерном реакторе на быстрых нейтронах одной из важнейших проблем замкнутого топливного цикла является переработка отработавшего

ядерного топлива (ОЯТ) для повторного его использования. Одним из наиболее перспективных методов переработки ОЯТ является пирохимический процесс. Для создания математической модели этого процесса необходимо решить задачу определение действующего значения расстояния между электродами. Схематичное изображение керамической емкости, в которой планируется организация процесса, приведено на рис. 1.



*Рисунок 1. Емкость для рафинирования ОЯТ*

Ввиду необычного расположения электродов из жидкого металла в емкости и распределенного пути распространения тока в объеме электролита, определение расстояния протекания тока между ними становится нетривиальной задачей. Это приводит к необходимости определения эквивалентного расстояния между электродами экспериментальным путем.

В ходе проведения эксперимента производились замеры протекающего тока в цепи электролизера с концентрическим расположением электродов при различных положениях электродов относительно дна емкости. По результатам эксперимента была построена зависимость между уровнями электродов и сопротивлением электролита. Для определения действующего значения расстояния прохождения электрического тока между анодом и катодом был проведен второй эксперимент. Суть его заключалась в построении зависимости сопротивления электролита от расстояния между электродами при их параллельном расположении. В таком случае расстояние протекания тока приблизительно равно расстоянию между электродами, а при равенстве сопротивления электролита в этом эксперименте значению сопротивлению электролита из первого эксперимента можно считать, что эти расстояния эквивалентны действующему расстоянию прохождения тока между катодом и анодом.

Для решения задачи была выдвинута первоначальная гипотеза (рис. 1), которая уточнялась в процессе экспериментов и в результате обработки полученных данных.

## **МЕТОДОЛОГИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИНФОРМИРОВАННЫХ ТРЕЙДЕРОВ ПРИ ТОРГОВЛЕ РИСКОВЫМИ АКТИВАМИ**

Л.А. Глик, О.Л. Крицкий, А.Ю. Трифонов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [glikla@tpu.ru](mailto:glikla@tpu.ru)

Предположим, что множество всех игроков на фондовом рынке, торгующих базовым активом и фьючерсом на него, разделено на информированных трейдеров и обычных «шумовых» частных инвесторов [1].

Влияние на изменение цены базового актива в момент  $t$  можно определить, как:

$$X_t = v_t + u_t,$$

где  $u_t \sim N(0, \sigma_u^2)$  – добавок к цене, предлагаемый со стороны обычных инвесторов,  $v_t = \beta\theta_t$  – надбавка к цене, которую согласен заплатить информированный трейдер,  $\beta$  – коэффициент пропорциональности,  $\theta_t = \bar{\theta} + \rho\theta_{t-1} + z_t$  – стоимость пакета, предлагаемого информированным участником торгов на рынке,  $\bar{\theta}$  – средняя цена пакета, покупаемого (продаваемого) в единицу времени;  $z_t \sim N(0, \sigma_z^2)$  – ценовой шум.

Пусть  $S_t$  – котировка базового актива в момент  $t$ ,  $F_t = S_t \exp(r(T-t))$  – цена фьючерса на базовый актив ценой  $S_t$  [2],  $r$  – безрисковая процентная ставка;  $T$  – момент исполнения фьючерса;  $t$  – текущее время. Тогда систему из приращений  $\Delta F_{t+1}$  и  $\Delta S_{t+1}$  можно записать в виде алгоритма Vector ARMA:

$$X_{t+1} = \tilde{A} + X_t \tilde{B} + \sum_{j=1}^{t-1} X_{t-j} \tilde{C} + \delta(\tilde{\varepsilon}_t; \varepsilon_t) + (\tilde{\varepsilon}_{t+1}; \varepsilon_{t+1}),$$

где  $X_{t+1} = (\Delta F_{t+1}; \Delta S_{t+1})$ ,  $\tilde{A} = (A_t; \gamma)$  – векторы,  $\tilde{B} = \begin{pmatrix} \rho e^{-2r} & 0 \\ C_t & \rho \end{pmatrix}$ ,  $\tilde{C} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ C_t & 0 \end{pmatrix}$  – квадратные матрицы  $2 \times 2$ ,

$A_t = \left[ \gamma + (1 + \rho - e^{-r} - \rho e^{-r}) S_0 \right] \exp(r(T-t-1))$ ,  $\gamma = \lambda \beta (1 - \rho) \frac{S_T - S_0}{T}$ ,  $\tilde{\varepsilon}_t = \varepsilon_t \exp(r(T-t-1))$  – преобразованный нормальный шум,  $C_t = (1 + \rho - e^{-r} - \rho e^{-r}) \exp(r(T-t-1))$ ,  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ ,

$$\delta = (1 + \rho^2)(2\rho)^{-1} + \left[ \lambda^2 \beta^2 \sigma_z^2 - \sqrt{(\lambda^2 \sigma_u^2 (1 - \rho)^2 + \lambda^2 \beta^2 \sigma_z^2) (\lambda^2 \sigma_u^2 (1 + \rho)^2 + \lambda^2 \beta^2 \sigma_z^2)} \right] (2\rho \lambda^2 \sigma_u^2)^{-1},$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = (\lambda^2 \beta^2 \sigma_z^2 + (1 - \rho^2) \lambda^2 \sigma_u^2) (1 + \delta^2 + 2\rho\delta)^{-1}.$$

Можно сформулировать обобщенный критерий наличия информированных трейдеров при торговле фьючерсами и базовым активом на них: 1) если  $-1 < \rho < 0$ , то  $0 < \delta < -\rho$ ; 2) если  $1 > \rho > 0$ , то  $-1 < \delta < -\rho$ . Данный критерий способен обнаруживать активность крупных информированных трейдеров при внутрисдневной торговле.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Park Y.S., Lee J. Detecting insider trading: The theory and validation in Korea Exchange// Journal of Banking & Finance. – 2010. – Т. 34. – № 9. – С. 2110-2120.
2. Alexander C., Barbosa A. Hedging index exchange traded funds// Journal of Banking & Finance. – 2008. – Т. 32. – № 2. – С. 326-337.

### ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕВЕНБЕРГА-МАРКВАРДА ДЛЯ ПОДБОРА ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА ОДНОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

С.П. Голубев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [BoBBySS1992@gmail.com](mailto:BoBBySS1992@gmail.com)

Непрерывный прогресс в области компьютерных технологий, а также в области промышленных контроллеров позволяет разрабатывать различные методики слежения, контроля и управления технологическими процессами в различных условиях во всех отраслях промышленности. Однако не всегда тот или иной метод или алгоритм, заложенный в основу системы управления, справляется со своей задачей. В виду такого положения дел применяют дополнительные, оптимизационные методы, которые предотвращают неточности более тривиальных методов и весьма успешно справляются со сложными задачами.

Научная работа посвящена применению оптимизационного метода Левенберга-Маркварда для поиска оптимальных параметров объекта: коэффициент передачи, постоянная времени, запаздывание. Для моделирования системы управления был выбран объект, описываемый инерционным звеном первого порядка с запаздыванием:

$$W = \frac{K_{об}}{T_{об} \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau \cdot s}$$

Система управления строится на принципе работы по отклонению. Изначально известны реальные значения параметров приведенного выше объекта ( $K_{об}=1,1$ ,  $T_{об}=55$   $\tau=70$ ). На основе этих данных, применяя метод оптимального модуля, рассчитываются параметры ПИД-регулятора. После данных операций получается неудовлетворительный результат. Далее применяется алгоритм оптимизации параметров объекта Левенберга-Маркварда. Данный метод произвел перерасчет параметров. Результат получился следующий:  $K_{об}=1,0084$ ,  $T_{об}=29,8125$   $\tau=66,72$ . Преимущества очень хорошо показывает график переходных процессов, изображенный ниже.

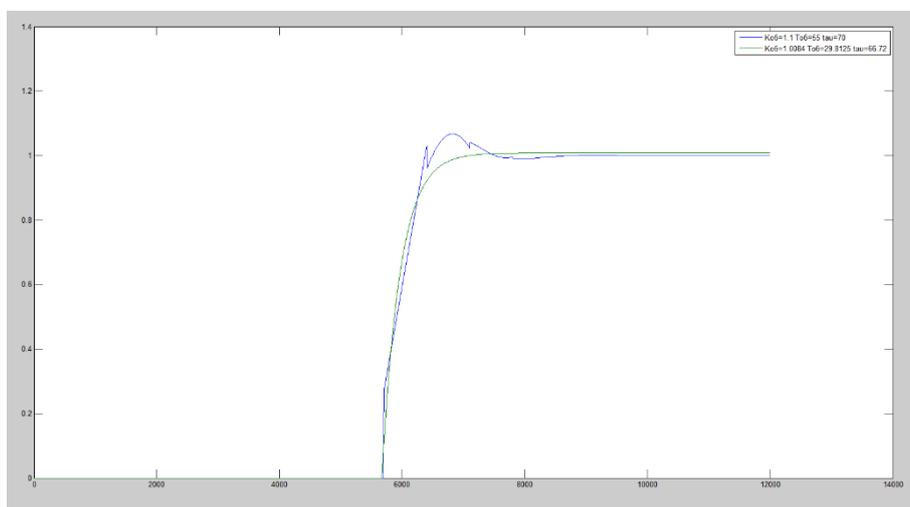


Рисунок 1. Переходные процессы при различных параметрах объекта

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Madsen, H.B. Nielsen, O. Tingleff Methods for non-linear least squares problems. – Informatics and Mathematical Modelling Technical University of Denmark, 2004. – 57 с.
2. Ralf Peeters. On a Riemannian Version of the Levenberg-Marquardt Algorithm. – Faculteit der Economische Wetenschappen en Econometrie, 1993. – 44 с. Название книги / Под ред. И.О. Фамилия. – М.: Издательство, 2011. – 123 с.
3. Алгоритм Левенберга-Марквардта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cc.gatech.edu/people/home/ananth/docs/lmtut.pdf>. – 08.06.04.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ХЕДЖИРУЮЩЕЙ СТРАТЕГИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ИСПОЛНЕНИЕ LOOKBACK ОПЦИОНА ПРОДАЖИ НА ФОНДОВЫЙ ИНДЕКС

Е.Ю. Данилюк, С.В. Рожкова

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: [daniluc\\_elena@sibmail.com](mailto:daniluc_elena@sibmail.com)

Как известно, результаты решения физико-технических проблем находят применение во многих сферах науки. Так, в стохастической финансовой математике для описания эволюции стоимости рискованных активов (акций) используется геометрическое броуновское движение [1–3]. Настоящее исследование посвящено востребованным инвесторами инструментам срочных финансовых рынков – опционам, базисным активом которых являются фондовые индексы, отражающие ценовую динамику акций.

В предлагаемой работе на основе диффузионной модели  $(B, S)$  – финансового рынка [1] рассматривается lookback опцион продажи с функцией выплат (1)

$$f_T(i_T) = \min_{0 \leq t \leq T} i_t - i_T, \quad (1)$$

основанный на экстремальном значении «цены» рискованного актива (индекса). В качестве спотовой цены рассматривается конечное значение рискованного актива  $i_T$ , в то время как страйковая цена является «плавающей». Значение индекса в момент времени  $t$  определяется на основе цен акций, по которым начисляются дивиденды, и может быть записано как  $i_t = \frac{\sum_{k=1}^n V_k S_t^k}{\sum_{k=1}^n V_k}$ , где

$S_t^k = S_0^k \exp\left\{\left(\mu_k - \frac{\sigma_k^2}{2}\right)t + \sigma_k W_t\right\}$ ,  $\mu_k$ ,  $\sigma_k$  – цена, параметр сноса и волатильность акции  $k$ -го типа в момент времени  $t$  соответственно;  $V_k$  – вес акции  $k$ -го типа в индексной корзине;  $W_t$  – стандартный винеровский процесс.

Задача заключается в построении оптимального хеджа подписчика опциона продажи (1) с плавающим страйком; нахождении минимального капитала инвестора, формируемого таким образом, чтобы в момент предъявления опциона к исполнению платежное обязательство (1) было выполнено в полном объеме. При этом излагается вывод и доказательство формул рациональной (справедливой) цены исследуемого экзотического опциона продажи. Устанавливается природа зависимости стоимости опциона от характеристик договора, дается графическое подтверждение и экономическая интерпретация полученных свойств решения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shiryaev A.N. Essentials of Stochastic Finance: Facts, Models, Theory. – Hackensack (New Jersey): World Scientific Publishing Company, 1999. – 834 p.
2. Ширяев А.Н. и др. К теории расчетов опционов Европейского и Американского типов. II. Непрерывное время // Теория вероятностей и ее применения. – 2006. – Т.39. – Вып. 1. – С. 61 – 102.
3. Melnikov A.V., Volkov S.N., Nechaev M.L. Mathematics of financial obligations (Translations of Mathematical Monographs). Providence, Rhode Island: American Mathematical Society, 2002. – V. 212. – 194 p.

## РАСЧЕТ ДЕСУБЛИМАЦИИ ФТОРИСТОГО ВОДОРОДА ИЗ ГАЗОВОЙ СМЕСИ НА СТЕНКАХ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ЕМКОСТЕЙ

М.И. Дурновцев, А.Ю. Крайнов, С.М. Губанов

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: [maxxd@inbox.ru](mailto:maxxd@inbox.ru)

Во время ведения процесса обогащения урана образуются газовые смеси, основными компонентами которых являются гексафторид урана, фтористый водород, воздух и неконденсируемые легкие примеси. Газовая смесь подвергается фракционной разгонке для возврата гексафторида урана в технологию и выделения фтористого водорода для дальнейшей переработки.

Технологическая линия фракционной разгонки газовых смесей состоит из двух последовательно расположенных установок, работающих по принципу конденсации и десублимации компонентов газовой смеси на охлажденных поверхностях. Улавливание гексафторида урана обеспечивает установка, оснащенная емкостями, охлаждаемыми холодным воздухом с температурой 183 К. Улавливание фтористого водорода происходит на установке, оснащенной двумя последовательно включенными емкостями-осадителями, охлаждаемыми жидким азотом до температуры 77 К.

На Заводе разделения изотопов АО "СХК" для получения холодного воздуха используется турбодетандерная воздушно-холодильная машина ВХМ-0,56/0,6. При проведении испытаний данной машины была достигнута температура холодного воздуха 113 К при стабильной работе турбодетандерного агрегата. В связи с чем было предложено заменить охлаждение емкостей-осадителей, с жидкого азота на холодный воздух.

На основе физико-математической модели процесса десублимации фтористого водорода из газовой смеси с воздухом проведено численное моделирование данного процесса при охлаждении емкостей-осадителей жидким азотом до температуры 77 К и холодным воздухом до температуры 113 К [1]. Проведены расчеты для среднесуточного, а также увеличенного на 30 % расхода газовой смеси, состоящей на 90 % из фтористого водорода и 10 % воздуха. Рассмотрен вариант комбинированного варианта охлаждения емкостей-осадителей при котором первая емкость охлаждается воздухом с температурой 113 К, а вторая жидким азотом. Также при проведены расчеты процесса десублимации при ассоциации фтористого водорода в комплексы из четырех и шести молекул.

Результаты расчетов показывают, что температура фтористого водорода в емкостях-осадителях, как в случае охлаждения жидким азотом, так и в случае охлаждения холодным воздухом достигает температуры стенки емкости в первой трети емкости. При этом расчетная концентрация фтористого водорода достигает значений, соответствующих давлению насыщенных паров при температуре охлаждения стенки емкости-осадителя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крайнов А.Ю., Васенин И.М., Губанов С.М., Чуканов М.В., Дурновцев М.И. Моделирование десублимации фтористого водорода из газовой смеси на стенки конденсатора // Труды ТГУ. Серия физико-математическая. Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики: Материалы III Всероссийской молодежной научной конференции. Томск, 2014. - Т. 292. - С. 206-211.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ ВЫСОКО ТЕХНОЛОГИЧНЫХ КОМПАНИЙ МЕТОДАМИ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

И.В. Загуменнова, М.Л. Шинкеев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: zagumennova@sibmail.com

С целью упрощения анализа рынка ценных бумаг, целесообразно выделить обобщенных факторов, число которых существенно меньше числа реально наблюдаемых переменных [1].

В данной работе исследуется возможность построения  $m$ -факторной модели для рынка ценных бумаг высокотехнологичных компаний (Informatica Corporation, Integrated Silicon Solution, Apple, Microsoft Corporation, Qualstar Corporation, Sony Corporation и Sparton Corporation) на период времени 02 января 2014 года по 15 октября 2014 года с периодичность 1 день (всего  $n=199$  значений). Рассматриваются два основных подхода: метод главных компонент и метод максимального правдоподобия. И в том и другом случае исходят из предположения, что каждый из исходных признаков может быть представлен в виде суммы линейной комбинации небольшого числа общих факторов и характерного фактора.

В методе главных компонент обобщенные факторы должны выделять большую часть суммарной дисперсии исходных факторов. В каноническом факторном анализе они должны полностью воспроизводить ковариации между исходными признаками [2].

Предварительно была проверена гипотеза о целесообразности применения факторного анализа, используя критерий отношения правдоподобия для проверки гипотезы о независимости компонент многомерного вектора [3].

В результате проделанной работы подтверждена возможность построения факторной модели для рынка ценных бумаг высокотехнологичных компаний на основе метода главных компонент. В ходе анализа определена целесообразность построения либо однофакторной, либо четырехфакторной модели. Выбор той или иной модели требует дополнительного исследования в зависимости от характера решаемой задачи. В то же время в ходе работы показана невозможность построения для данной совокупности данных канонической модели факторного анализа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н., Уебе Г., Шефер М. Многомерный статистический анализ в экономике. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999— 598 с.
2. Stat Soft Электронный учебник по статистике [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stfacan.html#factor>.
3. Дубров А.М. Многомерные статистические методы для экономистов и менеджеров. М.: Финансы и статистика, 1998. — 350 с.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В УРАН-ТОРИЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.А. Иванова, В.В. Кнышев, С.В. Беденко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: aai21@tpu.ru

С нейтронным излучением и процессам, которые приводят к его образованию в земной коре, связаны сложные и многообразные ядерно-физические явления. Основные процессы, вызывающие естественное нейтронное излучение добываемых пород, следующие: 1) спонтанное деление тяжелых ядер; 2)  $(\alpha, n)$ -реакции на легких элементах под действием естественных  $\alpha$ -излучателей; 3) генерация нейтронов под действием космического излучения; 4) резонансные фотоядерные реакции.

Вклад перечисленных выше каналов формирования нейтронного фона будет определяться составом руды, технологией добычи и переработки, особенностью протекания  $(\alpha, n)$ -реакций. Если в урановой продукции присутствует мощный источник  $\alpha$ -частиц, то значительную роль в формировании нейтронного фона играют  $(\alpha, xn)$ -реакции. Выход нейтронов по реакции  $(\alpha, n)$  для наиболее распространенных элементов земной коры изучен достаточно хорошо [1], изучен он также для свежего и облученного ядерного топлива [2]. Несмотря на это уже сегодня наблюдается тенденция повышения нейтронного фона свежего и облученного ядерного топлива (регенерированное топливо, топливные композиции типа –  $(Pu, Th)O_2$ ,  $(U, Pu)O_2$ ,  $UC/(U, Pu)C$ ,  $UN/(U, Pu)N$ ), что требует пересмотра процедур обращения с этим топливом в производстве.

Цель работы: провести расчетную оценку выхода нейтронов на стадиях производства (химическое соединение  $UF_6$ ) и хранения ядерного топлива (готовая продукция –  $UO_2$ , регенерат,  $(Pu, Th)O_2$ ,  $(U, Pu)O_2$ ,  $UC/(U, Pu)C$ ,  $UN/(U, Pu)N$ ).

В работе предложена физико-математическая модель процессов, позволяющая проводить количественные оценки выхода нейтронов из различных топливных композиций. Расчет спектрального состава излучения осуществлен путем совместного использования расчетного кода на основе метода Монте-Карло (MCU5) и современных библиотек оцененных ядерных данных.

Исследование выполнено при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации. Конкурс на право получения стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам. Грант № СП-295.2015.2.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власкин Г.Н., Хомяков Ю.С., Буланенко В.И. // Выход нейтронов реакции  $(\alpha, n)$  на толстых мишенях легких элементов // Атомная энергия. – 2014. – № 11. – С. 287–293.
2. Шаманин И.В., Буланенко В.И., Беденко С.В. Поле нейтронного излучения облученного керамического ядерного топлива различных типов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 2. – С. 97–103.

## ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО РАДАРА В ПЛАЗМЕ УСТАНОВОК УТС

А.Д. Исаков, Л.А. Лобес, А.В. Шарнин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [rhawww@gmail.com](mailto:rhawww@gmail.com)

Одной из приоритетных задач управляемого термоядерного синтеза (УТС) является повышение эффективности измерения распределения плотности электронов в плазме с использованием метода импульсной микроволновой рефлектометрии. Успешность решения этой задачи зависит от согласования двух взаимоисключающих требований: с одной стороны – повышения детальности описания физики распространения волн в плазме и их детектирования, а с другой – снижения сложности программно-аппаратной реализации математической модели на компьютере при сохранении приемлемого времени расчета. Последние достижения техники позволяют существенно повысить детальность описания процесса распространения волн в плазме и применять на практике не только двухмерные, но и трехмерные модели, рассчитываемые по методу конечных разностей во временной области (FDTD) [2].

Актуальность использования трехмерных моделей ИРП обусловлена потребностью повышения точности косвенных измерений и интерпретации аномальных артефактов. Вместе с этим, разработка трехмерных моделей электродинамики плазмы рассчитываемых по методу FDTD является нетривиальной задачей.

В данной работе представлены результат разработки 3D модели ИРП установок УТС типа токамак. Модель позволяет по заданному трехмерному распределению плотности электронов в плазме и параметрам зондирующего электромагнитного излучения импульсного радара рассчитывать и сохранять пространственно-временное распределение электромагнитного поля в плазме и вакуумной камере. Рассчитанные распределения используются для уточненного моделирования сигналов, формируемых антенной системой радара и полупроводниковым первичным преобразователем. Это позволяет исследовать и оценивать эффективность традиционных методов измерения времени пролета, реализуемых радаром и основанной на обработке сигнала первичного преобразователя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shevchenko V. F., Walsh M. J., First results from the small tight aspect ratio tokamak multifrequency pulse radar reflectometer, Review of Scientific Instruments. 1997. Т. 68. № 5. С. 2040-2045.
2. Taflove A., Umashankar K.R. The Finite-Difference Time-Domain (FD-TD) Method for Electromagnetic Scattering and Interaction Problems // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 1987 – Vol. 1 – № 3 – P. 243–267.

## РАСЧЕТ ОСНОВНОГО И НЕКОТОРЫХ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ

### ЛИТИЙ-ПОДОБНЫХ ИОНОВ УРАНА

Г.Е. Тшикеди, В.А. Килин, Е.А. Сеницын

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [yak@tpu.ru](mailto:yak@tpu.ru)

Исследование эффекта расщепления энергетических уровней многозарядных ионов при их релятивистском каналировании между кристаллическими плоскостями, а также сопровождающих процессов

возбуждения электронов и последующего распада возбужденных состояний является актуальной задачей [1]. В настоящей работе представлены результаты первого, подготовительного шага такого исследования – данные по расчету основного и ряда возбужденных состояний  $Li$ -подобных ионов  $U^{92}$ , полученные в нерелятивистском приближении Хартри-Фока (ХФ). Расчеты выполнены с использованием известного пакета программ АТОМ [1], который позволяет, в частности, получать полные и одноэлектронные энергии состояний, а также их волновые функции дискретного и непрерывного спектра в двух вариантах – в самосогласованном ХФ потенциале и в приближении «замороженного» ионного остова. В первом варианте энергия возбуждения рассчитывается как разность между ХФ полными самосогласованными энергиями возбужденного  $E^*$  и основного  $E_0$  состояний,  $\Delta E^{SCF} = E^* - E_0$ , во втором – равна разности одноэлектронных энергий возбужденной и возбуждаемой подоболочки,  $\Delta E^{FC} = \epsilon_{nl} - \epsilon_0$ .

Выполнен расчет энергий возбуждения  $Li$ -подобного иона  $U^{92}$  из основного состояния  $1s^2 2s$  в состояния  $1s^2 nl$ ,  $nl = 3s-10s, 2p-5p, 3d-5d, 4f, 5f$  электрона. Результаты приведены в таблице.

Таблица 1 - Энергии ( $Ry$ )  $\Delta E^{SCF}$  и  $\Delta E^{FC}$  возбуждения  $1s^2 2s \rightarrow 1s^2 nl$   $Li$ -подобного иона  $U^{92}$

$1s^2 nl$	$\Delta E^{SCF}$	$\Delta E^{FC}$	$1s^2 nl$	$\Delta E^{SCF}$	$\Delta E^{FC}$	$1s^2 nl$	$\Delta E^{SCF}$	$\Delta E^{FC}$
3s	1138.109	1138.110	9s	1943.110	1943.107	3d	1143.225	1143.294
4s	1534.891	1534.889	10s	1962.160	1962.158	4d	1537.007	1537.044
5s	1718.200	1718.198	2p	12.785	12.786	5d	1719.274	1719.294
6s	1817.664	1817.659	3p	1141.698	1141.696	4f	1537.046	1537.044
7s	1877.593	1877.589	4p	1536.377	1536.374	5f	1719.296	1719.294
8s	1916.468	1916.466	5p	1718.954	1718.952			

Видно, что (i) рассчитанная энергия возбуждения мало зависит от варианта расчета, что естественно для столь высокозарядного иона, (ii) ее величина определяется, в основном, главным квантовым числом  $n$  возбужденных состояний, что характеризует водородоподобность состояния возбужденного электрона. Заметим, что энергия всех возбуждений на два порядка больше энергии первого возбужденного состояния  $1s^2 2p$ . Можно ожидать, что при каналировании наиболее вероятно именно такое возбуждение  $Li$ -подобного иона  $U^{92}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nakai Y., et al. Stark effect in resonant coherent excitation of 2s-electron of Li-like ions channeling in a Si crystal // Nucl. Instr. Methods. - 2013. - v. 315. – p. 94–98.
2. Амусья М.Я., Чернышева Л.В. Автоматизированная система исследования структуры атомов. – Л.: Наука, 1983. – 180 с.

#### КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ В КР III

Б.Д. Уилкоккс, В.А. Килин, Р.Ю. Килин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [yak@tpu.ru](mailto:yak@tpu.ru)

Для достоверной интерпретации экспериментальных спектроскопических данных (напр., [1]) требуется знать ширину каналов заселения флуоресцентных состояний и, следовательно, полную ширину промежуточных состояний, если таковые существуют. В частности, представляют интерес полные ширины промежуточных ионных состояний типа  $KrIII 4p^{-3} nl$ , которые могут проявляться во флуоресцентных спектрах после  $3d$

ионизации атома  $Kr$  или его возбуждения в резонансное  $KrI\ 3d^1\ np$  состояние после их автоионизационных распадов. Вполне очевидны радиационные каналы, представленные одноэлектронными дипольными переходами типа  $4p^3nl \rightarrow 4p^3n'l'$  или  $4p^3nl \rightarrow 4p^2$ , в которых меняет состояние только оптический электрон  $nl$ . Однако можно указать на существование и других не столь тривиальных дипольных переходов из  $4p^3nl$ , именно  $4p^3nl \rightarrow KrIII\ 4s^14p^1$ , в которых изменяются состояний сразу двух электронов благодаря корреляционным взаимодействиям. Одна из фейнмановских диаграмм двухэлектронного корреляционного (с) перехода типа  $i_1i_2i_3\ nl \rightarrow i_{1,2,3}f\ n'l'$  с участием возбужденного электрона  $nl$  представлено на рис. 1

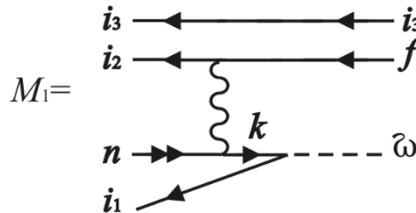


Рисунок 1. Двухэлектронный радиационный переход

Вообще говоря, каналы заселения могут содержать и более сложные корреляционные переходы, например, трехэлектронные радиационные переходы типа  $4s^2\ nl \rightarrow 4p^2\ n'l'$ . Для сравнительного анализа относительной ширины таких переходов рассмотрены также “некорреляционные” (нс) переходы типа  $4p^3\ np \rightarrow 4p^3\ n's/d$ , в которых меняется состояние только оптического электрона. Показано, что ширина некоторых первых переходов сравнима с шириной вторых. При вычислении амплитуд переходов в низшем исчезающем порядке теории возмущений волновые функции возбужденных электронов  $nl$  состояний  $4p^3[L_iS_i]\ nl\ [LS]$  рассчитаны в “замороженном” поле ионного остова  $4p^3[L_iS_i]$ .

Расчет характеристик дипольных переходов обоих типов: (с)  $4p^3[L_iS_i]\ 5p\ [LS] \rightarrow 4p^3[L_fS_f=L_iS_i]\ 5s[L'S']$ ,  $*** \rightarrow 4p^3[L_fS_f=L_iS_i]\ 4d[L'S']$  (55 переходов),  $*** \rightarrow 4s^1\ 4p^1\ [L'S']$  (11 переходов) и (нс)  $4p^3[L_iS_i]\ 6p\ [LS] \rightarrow 4p^3[L_fS_f=L_iS_i]\ ns[L'S']$  ( $n=5,6$ ),  $*** \rightarrow 4p^3[L_fS_f=L_iS_i]\ nd[L'S']$ , ( $n=4,5$ ; 92 перехода),  $*** \rightarrow 4s^1\ 4p^1\ [L'S']$  (11 переходов) проведен с использованием пакета программ АТОМ [2].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ehresmann A., Kilin V.A., Schmoranzner H., Schartner K.-H., and Amusia M.Ya. Assignment of new fluorescence lines from  $KrIII\ 4p^3\ 6s/5d$  states observed after excitation of the  $KrI\ 3d^95/2\ 5p$ - resonance // J. Phys.B.: Atom. Mol. Opt. Phys. – 1995. – V. 28. – P. 965–977.
2. Амусья М.Я., Чернышева Л.В. Автоматизированная система исследования структуры атомов. – Л.: Наука, 1983. – 180 с.

### САТЕЛЛИТНЫЕ ОЖЕ-ПЕРЕХОДЫ В КРИ

В.А. Килин, Р.Ю. Килин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [yak@tpu.ru](mailto:yak@tpu.ru)

Рассматриваемые в работе сателлитные Оже-переходы (СОП) весьма близки по характеру к двойным Оже-переходам (ДОП) [1], в которых при автоионизационном распаде внутренней атомной вакансии испускается сразу два электрона с непрерывно распределенной между ними энергией перехода. В СОП же лишь один электрон  $q$  вполне определенной энергии излучается в непрерывный спектр, а второй возбуждается

на дискретный уровень  $nl$  двукратного иона. Таким образом, конечное состояние характеризуется тремя вакансиями  $f_1, f_2, f_3$ , электроном на возбужденном дискретном уровне  $nl$  и Оже-электроном  $q$  в непрерывном спектре, рис.1.

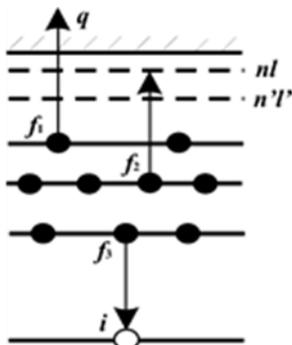


Рисунок 1. Сателлитный Оже-переход

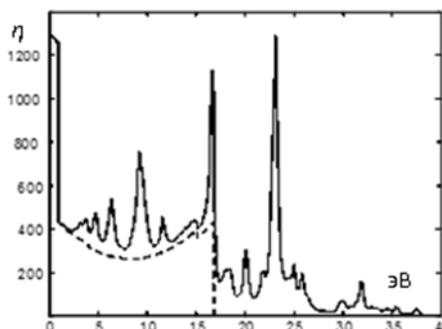


Рисунок 2. Модель суммарного спектра (отн. ед.)

В таком переходе участвуют, как минимум, три атомных электрона. Поскольку часть энергии перехода затрачивается на возбуждение второго электрона на уровень  $nl$ , то кинетическая энергия Оже-электрона уменьшается на соответствующую величину, что приводит к появлению дополнительных (сателлитных) линий в Оже-спектрах. Последующий распад таких резонансов приводит к появлению дополнительных линий [2] в спектрах и структур в сечениях. Рассчитаны энергии и вероятности более 450 СОП вида  $3d^1[2D] \rightarrow 4s^1 4p^2[4P, 2D] nl[LS] + q$  и  $3d^1[2D] \rightarrow 4p^3[4S, 2P, 2D] nl[LS] + q$  в  $Kr$  со значениями квантовых чисел  $n=1,2,\dots,9$  и  $l=0,1,2,3$ . Характеристики этих переходов полезны при интерпретации экспериментальных спектров флюоресценции и сечений фотоионизации, полученных методом ФИФС при фотовозбуждении  $Kr$  в области порога ионизации его  $3d$ -оболочки. На основе рассчитанных ширин и энергий переходов построены модели электронного спектра для рассмотренных групп переходов, а также модель суммарного спектра, рис.2, порождаемого при распаде  $3d$ -вакансии в  $Kr$ , путем наложения дискретного спектра СОП и подложки непрерывного спектра в области (0–18 эВ) от ДОП ([1], штриховая линия - - -).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Килин В.А. Лазарев Д.А. Двойной Оже-распад  $3d$ -вакансии в  $Kr$  // Изв. вузов. Физика. – 1997. – № 10. – С. 54–63.
2. Ehresmann A., Kilin V.A., Schmoranzner H., Schartner K.-H., and Amusia M.Ya. Assignment of new fluorescence lines from  $Kr III 4p^3 6s/5d$  states observed after excitation of the  $Kr I 3d^9/2 5p$ - resonance // J. Phys.B.: Atom. Mol. Opt. Phys. – 1995. – V. 28. – P. 965–977.

### АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ МОМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРАЩЕНИЙ ЦЕН

#### ПАРЫ USD/RUB

М.О. Кинева, О.Л. Крицкий

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mariakineva@mail.ru](mailto:mariakineva@mail.ru)

В последнее десятилетие отмечается значительный рост числа исследований, связанных с изучением поведения сложных экономических систем и флуктуаций финансовых рынков. Одним из способов их

исследования является непосредственный анализ высокочастотных эмпирических данных с использованием теории случайных процессов, примененной к ценовым приращениям вида:

$$\Delta x(t) = x(t + \Delta t) - x(t) \quad (1)$$

где  $x(t)$  – исходный стохастический процесс,  $\Delta t$  – временной лаг.

Определение статистических свойств приращений в (1) и имитационное моделирование их будущего поведения является центральной задачей динамики финансовых рынков. Для ее решения предложена теоретическая модель стохастической волатильности (SV) [1], включая модель Хестона.

В настоящей работе проводится асимптотическое оценивание и нахождение функциональной зависимости коэффициентов  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\rho$ ,  $q$  модели стохастической волатильности вида:

$$\begin{aligned} d(\Delta x) &= \mu(\Delta x, t)dt + \Delta\sigma(\Delta x, \Delta\sigma, t)dW_1, \\ d(\Delta\sigma) &= g(\Delta x, \Delta\sigma, t)dt + q(\Delta x, \Delta\sigma, t)dW_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\Delta x$  – ценовые приращения, удовлетворяющие (1),  $\mu$  – коэффициент дрейфа,  $\Delta\sigma = \sigma(t + \Delta t) - \sigma(t)$  – приращения волатильности,  $g$ ,  $q$  – некоторые непрерывные функции,  $dW_i$  – приращения винеровских процессов,  $i=1, 2$  с корреляцией  $\rho dt = \overline{dW_1, dW_2}$ ,  $t \in [t_0, T]$ .

Найденные таким образом параметры используются для нахождения асимптотического аналитического решения уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова.

Детерминация и нахождение функциональной зависимости данных коэффициентов является актуальной задачей, так как ни одна из известных моделей не описывает действительное поведение рынка, а учитывает только конечный набор его характеристик.

Построенный алгоритм позволяет описать поведение ценовых приращений и их волатильности для тиковых данных, зафиксированных в течение торговых сессий. При этом он применяется к анализу котировок пары USD/RUB. Были использованы тиковые десятиминутные и тридцатиминутные данные – всего 11580 значений рублевых цен доллара за период с 1 сентября 2014 г. по 2 февраля 2015 г. (данные предоставлены компанией Финам, <http://finam.ru>).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крицкий О.Л., Лисок Е.С. Асимптотическое оценивание коэффициентов модели стохастической волатильности // Прикладная эконометрика, 2007, т. 2, №2, с. 3 – 12.
2. Friedrich R. How to Quantify Deterministic and Random Influences on the Statistics of the Foreign Exchange Market // Physical Review Letters. – 2000. – V. 84 - № 22. – P. 5224.

#### ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСФАЗНОЙ МИШЕНИ ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОПЕРЕЧНОГО РАЗМЕРА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

Е.В. Корноухова, Д.А. Шкитов, А.С. Коньков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [winterhof@sibmail.com](mailto:winterhof@sibmail.com)

В настоящее время продолжается поиск новых методов диагностики характеристик пучков заряженных частиц. Одним из известных методов является использование дифракционного излучения (ДИ), впервые экспериментально зафиксированного в 1995 году [1]. С тех пор ДИ от мишеней различной конфигурации

исследуется на предмет возможности его применения для диагностики пучков заряженных частиц [2]. Интерес к ДИ обусловлен, прежде всего, тем, что методы на его основе имеют практически невозмущающий характер воздействия на диагностируемый пучок. Однако потенциальные возможности по применению мишеней ДИ различных конфигураций для диагностики пучков всё ещё полностью не раскрыты. Одной из таких конфигураций является дисфазная мишень – разновидность щелевой мишени, состоящей из двух пластин с разными углами наклона к траектории пучка заряженных частиц. Ранее в работе [3] были исследованы интерференционные эффекты, возникающие в ДИ от дисфазной мишени, с помощью приближённого метода псевдофотонов, который существенно ограничивает область применения полученных результатов ультрарелятивистскими энергиями пучков заряженных частиц и малыми углами наклона пластин дисфазной мишени. По этой причине в данной работе представлены результаты моделирования характеристик (пространственные и спектральные распределения) ДИ, которое генерируется при пролёте пучка релятивистских электронов вблизи дисфазной мишени, образованной двумя идеально проводящими прямоугольными пластинами, на основе обобщённого метода поверхностных токов [4]. Расчёты проводились на основе модифицированного под геометрию дисфазной мишени ранее разработанного кода [5]. Приведённые расчёты учитывают как реальные размеры мишени, так и эффекты ближней и предволновой зоны. Кроме того, в работе подробно рассматривается возможность применения дисфазной мишени для невозмущающей диагностики поперечного размера электронного пучка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Shibata, et al. Observation of coherent diffraction radiation from bunched electrons passing through a circular aperture in the mm- and submm-wavelength regions // *Phys. Rev. E.* – 1995. – V.52. – P. 6787.
2. D.A. Shkitov, et al. Feasibility of double diffraction radiation target interferometry for compact linear accelerator micro-train bunch spacing diagnostics // *J. of Phys.: Conf. Ser.* – 2014. – V.517. – P. 012024.
3. Шкитов Д.А., Потылицын А.П. Интерференционные эффекты в дифракционном излучении от дисфазной мишени // *Известия вузов. Физика.* – 2011. – Т.54. - № 11/2. – С. 285-289.
4. Karlovets D.V., Potylitsyn A.P. Generalized surface current method in the macroscopic theory of diffraction radiation // *Physics Letters A.* – 2009. – V.373. – P. 1988–1996.
5. Корноухова Е.В., Шкитов Д.А. Разработка программного кода на языке программирования Wolfram для расчета характеристик поляризованного излучения // *Сб. тезисов докладов VI Международной научно-практической конференции.* – Томск, 2014. – С. 154.

#### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ КАТОДНОГО ОСАДКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ АКТИНОИДОВ

Е.А. Смекалин, Т.А. Корчуганова, С.Н. Ливенцов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [tatiana.alex.korchuganova@gmail.com](mailto:tatiana.alex.korchuganova@gmail.com)

Отрасль ядерной энергетики тесно связана с процессом накопления отработавшего в АЭС топлива, которое после процесса захоронения в дальнейшем не используются. В рамках разрабатываемой технологии замкнутого ядерного топливного цикла создается система переработки облученного ядерного топлива, отработавшего в реакторах на быстрых нейтронах, для его рефабрикации. Это позволит получить топливо, которое может быть повторно использовано для получения энергии. Данная технология позволит свести к минимуму ядерные отходы и претворить в жизнь идею о замкнутом ядерном топливном цикле [1].

Целью работы является получение модели процесса растворения катодного осадка металлических актиноидов, находящейся в составе модуля переработки нитридного облученного ядерного топлива.

Технология переработки облученного ядерного топлива разделена на несколько комплексов [2]. Так как процесс загрузки топлива периодический и начало следующего этапа невозможно без завершения предыдущего, каждый комплекс для упрощения моделирования можно считать самостоятельным. По тем же причинам упрощается модель подсистемы растворения катодного осадка металлических актиноидов, который является частью комплекса растворения продуктов пирохимической переработки смешанного уран-плутониевого нитридного облученного ядерного топлива.

Процесс растворения катодного осадка металлических актиноидов, содержащего в основном  $U$ ,  $Pu$ ,  $Np$  и  $Am$  в виде интерметаллидов, в азотной кислоте происходит при поддержании постоянной температуры и активном перемешивании воздухом получаемой смеси. Поскольку в осадке большую часть составляют уран и плутоний, основными реакциями являются получения азотнокислого уранила  $UO_2(NO_3)_2$  и азотнокислого плутония  $Pu(NO_3)_4$ . Для составления уравнений материального и теплового баланса был проведен анализ растворения как химического процесса и его основных характеристик. В результате анализа предложено считать, что аппарат растворения катодного осадка является реактором идеального смешения периодического действия с внешним обогревом.

На основании принятых допущений, материального и теплового баланса разработано математическое описание реактора и проведено его моделирование в компьютерной среде Кода оптимизации и диагностики ядерного топливного цикла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Троянов В.М. Замыкание ЯТЦ: постановка задачи, состояние и перспективы реализации целей проекта «Прорыв» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.innov-rosatom.ru/> – 21.03.2014.
2. ЛСУ установкой растворения катодного осадка металлических актиноидов : пояснительная записка к эскизному проекту / ОАО Свердловский науч.-исслед. ин-т химического машиностроения.

#### О ВЫЧИСЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФУРЬЕ В МОДЕЛЯХ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

И.В. Коротков, С.Е. Голосов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [korytov@tpu.ru](mailto:korytov@tpu.ru)

Одним из методов цифровой обработки периодических сигналов является разложение в ряды Фурье функций, выражающих поведение сигнала во времени. При этом в практике инженерного применения алгоритмы вычисления коэффициентов Фурье считаются заданными и не подлежат изменению. Коэффициенты Фурье используются в построении тригонометрических многочленов различных порядков, которые и составляют собственно модель сигнала с различной степенью приближения. Поскольку данные сигнала фиксируются в дискретные, не обязательно равноотстоящие, моменты времени, в качестве моделирующих применяют ступенчатые функции.

Среди проблем приближения ступенчатыми функциями выделяется увеличение амплитуды колебания тригонометрического многочлена вблизи точек разрыва первого рода и достижение её максимума в самих таких точках. Значения моментов времени выступают в качестве точек, в которых фиксируется наблюдение, и одновременно являются точками разрыва ступенчатой функции. В работе предложен способ устранения

проблемы амплитуды в точках фиксации наблюдений, а также рассматриваются связанные с этим аспекты вычисления коэффициентов Фурье и оценки погрешности вычислительного процесса. В случае равноотстоящих наблюдений приводятся возможные варианты построения ступенчатой функции. Ряды Фурье подразумеваются в вещественной форме.

Сравниваются две ситуации. В первой функция является постоянной на отрезке между моментами наблюдений (частичном отрезке) и принимает значение, равное наблюдению в левом конце отрезка. Моменты наблюдений являются точками разрыва первого рода. В точках наблюдения амплитуда колебания наибольшая. Аналогично можно строить функции со значениями в правом конце частичного отрезка. При этом принципиально ситуация остаётся прежней.

Во второй ситуации самый левый и самый правый частичные отрезки имеют длину, равную половине интервала между наблюдениями. Остальные, внутренние, частичные отрезки имеют прежнюю длину, равную интервалу наблюдения. Точки наблюдения оказываются лежащими в середине каждого внутреннего частичного отрезка. Значением функции на частичном отрезке становится наблюдение в его середине. Моменты наблюдения становятся точками непрерывности ступенчатой функции, а разрывы перемещаются в моменты времени между наблюдениями. Таким образом, эффект увеличения амплитуды переносится с моментов наблюдения на другие точки.

Показано, что и в той, и в другой ситуации формула вычисления коэффициентов Фурье становится составной квадратурной формулой прямоугольников для приближенного вычисления интегралов по периоду от некоторой функции, значения которой известны в моменты наблюдения. Первая ситуация даёт либо правое, либо левое расположение узлов, а вторая – серединное. К тому же во второй ситуации интегрирование по крайним частичным отрезкам производится отдельно, а затем суммируется. Погрешность оценивается как на классе кусочно-непрерывных функций, так и на пространстве функций, интегрируемых с квадратом.

## **ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ТРЕХМЕРНОГО FDTD-СИМУЛЯТОРА ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ ПЛАЗМЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСАХ.**

А.С. Кравец, Л.А. Лобес, А.В. Шарнин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [savasko-sasha@mail.ru](mailto:savasko-sasha@mail.ru)

Планирование экспериментов, проектирование новой аппаратуры и интерпретация результатов измерений параметров плазмы на установках управляемого термоядерного синтеза (УТС) во многих случаях требует исследования трехмерных эффектов распространения электромагнитных волн в плазме. Большинство методов исследования требуют проведения многократных вычислительных экспериментов с использованием реализованной на компьютере математической модели.

Основанные на решении системы уравнений Максвелла трехмерные численные модели плазмы позволяют получить наиболее точные решения и находят применение в качестве эталонных методов расчета для оценки применимости более простых моделей, а также интерпретации результатов измерения в сложных случаях. Необходимость выполнения больших объемов вычислений и неприемлемая продолжительность расчетов до последнего времени ограничивали область применения таких моделей.

При однократном решении трехмерной задачи распространения электромагнитных волн в плазме установок УТС по методу FDTD [1] на современном персональном компьютере время решения может превышать несколько десятков часов. Учитывая, что для анализа требуется получать множество решений, актуально минимизировать время вычислений.

В работе приведен сравнительный анализ технологий параллельного программирования MPI, OpenMP, CUDA применительно к реализации расчетов распространения волн в плазме по методу FDTD.

Представлены оценки производительности расчётных кодов на основе FDTD, реализованных с использованием технологий параллельного программирования, OpenMP, CUDA на компьютерах с архитектурой Фон-Неймана и GPU-ускорителях. Показано, что время вычислений может быть минимизировано на несколько порядков величины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Taflove A., Umashankar K.R. The Finite-Difference Time-Domain (FD-TD) Method for Electromagnetic Scattering and Interaction Problems // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 1987 – Vol. 1 – № 3 – P. 243–267.

#### ВАРИАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ТАБЛЕТОК ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ

И.И.Локтев, Е.В.Выходцев

Публичное акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов"

Россия, г.Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94, 630110

E-mail: loktev@nccp.ru

При отработке технологических процессов изготовления таблеток, а также при их промышленном производстве может возникнуть необходимость изменения параметров прессованных или спечённых таблеток из соображений обеспечения качества продукции и исключения брака на промежуточной или конечной стадии. Для этого нужно знать, что влияет на выходные параметры таблеток, при условии, что некоторые режимы изготовления изменять нельзя, например, режимы спекания. Основными физическими характеристиками, которые однозначно описывают состояние той части исходного порошка в матрице для прессования, которая пошла на изготовление отдельной таблетки, можно считать их плотность  $\rho$ , диаметр  $D$ , высоту  $H$ . Для более подробного описания ещё и диаметр центрального отверстия, параметры лунки и фаски.

Хотя изделия порошковой металлургии отличаются сложностью описания происходящих в них процессов, основные физические характеристики, геометрические и массовые, которые перечислены выше, достаточно жёстко и просто связаны между собой, а одноимённые параметры для разных состояний (порошок, прессованная таблетка, спечённая таблетка) на разных стадий процесса также однозначно связаны между собой при высокой воспроизводимости процессов. В их основе лежат фундаментальные законы, в первую очередь: закон сохранения массы навески порошка, взятого на прессование и прошедшего прессование и спекание (при изготовлении таблеток из диоксида урана соблюдается с точностью до 1%); а также интегральные и аддитивные законы физического пространства. В общем виде их можно сформулировать следующим образом: плотность какого-либо вещества и его распределение в пространстве будет зависеть от количества этого вещества и координат границ его распределения. При переходе этого вещества из одного состояния в другое, будут изменяться (варьироваться) его параметры состояния, перечисленные выше, так, что сбалансированная алгебраическая сумма вариаций всех основных параметров будет равна нулю.

$$\omega_{\gamma} + 2\omega_D + \omega_H - \omega_M = 0$$

Из полученного соотношения, его можно назвать инвариантой, приравнивая два члена нулю и получая серию изопараметрических процессов, получим парные соотношения вариаций параметров. Приравнивая нулю поочередно одну вариацию, получим несколько тройных соотношений параметров.

Полученные соотношения вариаций параметров дают возможность технологам по результатам пробного изготовления или по свойствам первых порций изготавливаемых таблеток внести корректировки в технологию на её более ранних стадиях, выбирая для этого из нескольких вариантов наиболее простой в данной ситуации метод.

Например, повысить плотность прессованных таблеток на 5% можно следующими способами:

- повысить объём навески пресс-порошка на 5% при той же высоте прессованной таблетки (повышая давление прессования);

- повысить насыпной вес пресс-порошка на 5% при том же давлении прессования;

- уменьшить высоту прессованной таблетки на 5% при том же давлении прессования;

- уменьшить диаметр матрицы на 2,5% при той же высоте прессованной таблетки.

Изопараметрическая модель позволяет также решать задачи прогнозирования свойств изготавливаемых таблеток. Если расчётные результаты не совпадут с фактическими, значит вмешался непредусмотренный фактор, или нет правильного понимания протекающих процессов.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО СМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СМЕСИТЕЛЕ МЕТОДОМ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА

И.И.Локтев, Е.В.Выходцев

Публичное акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов"

Россия, г.Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94, 630110

E-mail: loktev@nccp.ru

Существуют сотни моделей, составленные на основе работы клеточного автомата. Клеточный автомат является распространённым методом моделирования простых явлений на координатной плоскости, которые связаны с изменением состояния клетки под действием определённого воздействия, которое задаётся некоторой функцией.

Используя генератор случайных чисел, можно, например, в программе Excel смоделировать диффузионный дрейф точки (частицы), перемещающейся случайным образом с каждым тактом смещения. Допуская, что движение отдельных частиц порошка в смесителе сходно со случайным перемещением точки клеточного автомата, можно использовать этот способ моделирования процессов переноса для описания операции смешивания порошков. Пусть начальная положение точки (частицы порошка) в осях  $x$  и  $y$  будет  $x_0=0$ ;  $y_0=0$ . Координаты следующего места положения определятся случайным смещением точки по осям  $x$  и  $y$  на шаг, равный 1. Через  $n$  шагов точка будет находиться в координатах (1):

$$x_n = x_{n-1} + RNDa_n = \sum_{k=1}^n RNDa_k ; y_n = y_{n-1} + RNDb_n = \sum_{k=1}^n RNDb_k ,$$

Построим путь дрейфа точки за 1000 шагов на координатной плоскости, повторим построение 10 раз. Введём показатель итогового смещения частицы за 1000 шагов - вектор итогового смещения.. Сделаем

статистическую обработку серии из 10 дрейфов. Среднее итоговое смещение частицы за 1000 случайных шагов составляет около 50 "прямых" шагов.

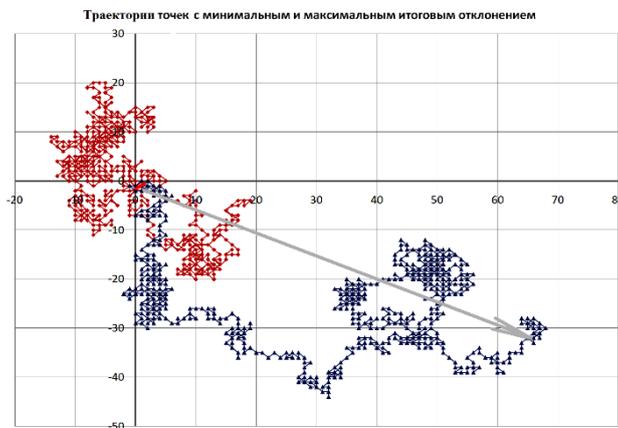


Рисунок 1. Траектории случайных перемещений частицы с минимальным и максимальным вектором смещения

При смешивании порошковых материалов выравнивание содержания компонентов в смеси следует ожидать через  $20 \cdot l/m$  эффективных циклов смешивания, где  $l$  и  $m$  – максимальный габаритный размер камеры смешивания и длина условного шага смещения порошка за один цикл. Для применения модели к конкретному смесителю следует экспериментально определить значения  $l$  и  $m$ .

## МОДЕЛЬ СМЕШИВАНИЯ ПОРОШКОВ В МЕХАНИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЯХ

И.И.Локтев, Е.В.Выходцев

Публичное акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов"

Россия, г.Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94, 630110

E-mail: loktev@ncsr.ru

Перемешивание порошковых материалов в механических смесителях происходит обычно с помощью активаторов, перемещающих части загруженного материала в различные места рабочего объёма смесителя. За один цикл смешивания можно принять один оборот активатора или какое-то число оборотов. Сколько циклов нужно сделать для получения однородной смеси во всех частях смесителя, можно оценить с помощью простой модели с использованием модели фазового пространства.

Пусть  $V$  - объём рабочей зоны смесителя,  $v_a$  и  $v_b$  - объёмы, которые занимают в смесителе в момент загрузки порошки  $A$  и  $B$ , которые нужно смешать. Процесс смешивания представим как добавление порошка  $B$  в объём  $v_a$  с каждым циклом (оборотом активатора) с долей  $k$  от объёма  $v_b$ . ( $k$  - эффективность работы смесителя). В свою очередь, изъятая часть порошка  $B$  из его объёма  $v_b$  будет в том же цикле замещаться частью порошка  $A$  из его объёма  $v_a$ , уже частично разбавленного в этом цикле порошком  $B$ . Поскольку такой баланс и взаимное разбавление порошков  $A$  и  $B$  в реальности представить себе невозможно, будем считать объём  $v_a$  и  $v_b$  фазовым пространством и будем следить за тем, как с каждым циклом смешивания в них изменяется концентрация. Концентрация, например, порошка  $A$  в объёме  $v_a$  будет снижаться от 100% до равновесной, а в объёме  $v_b$  - от нуля до того же значения. Запишем концентрации для первых трёх циклов смешения:

$$n=0, \quad C_{va}^0 = 1; \quad C_{vb}^0 = 0, \quad n=1, \quad C_{va}^1 = C_{va}^0(1-k) = 1-k; \quad C_{vb}^1 = \frac{kaC_{va}^0}{b} + C_{vb}^0 = \frac{ka}{b}$$

$$n=2, \quad C_{va}^2 = 1 - 2k + \frac{k^2}{b}; \quad C_{vb}^2 = \frac{ka}{b} \left( 2 - \frac{k}{b} \right) \quad n=3 \quad C_{va}^3 = 1 - 3k + 3\frac{k^2}{b} - \frac{k^3}{b^2}; \quad C_{vb}^3 = \frac{ka}{b} \left( 3 - 3\frac{k}{b} + \frac{k^2}{b^2} \right)$$

Модель не имеет общих выражений для концентраций для произвольного цикла  $i$ , а выражения с каждым циклом усложняются. Гораздо проще представить модель в графическом виде, производя каждый цикл конкретные вычисления в Excel.

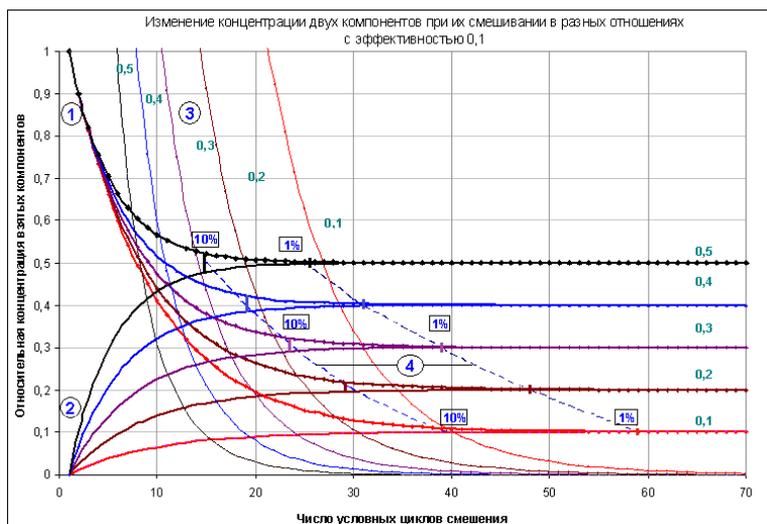


Рисунок 1. Концентрация порошка А в процессе смешивания в смесителе с эффективностью 0,1 при отношениях А/В от 0,1 до 0,5

На рисунке представлены графики концентраций порошка А в процессе смешивания в смесителе с эффективностью 0,1 при отношениях А/В от 0,1 до 0,5.

Представленная графическая модель позволяет оценить необходимый период смешивания двух порошков в условных показателях эффективности смесителя  $k$ . Для этого необходимо экспериментально связать параметр модели  $k$  с техническими характеристиками смесителя.

### ОЦЕНКА ОДНОРОДНОСТИ СМЕШИВАНИЯ ПОРОШКОВ ДВУХ ФРАКЦИЙ.

И.И.Локтев, Е.В.Выходцев

Публичное акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов"

Россия, г.Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94, 630110

E-mail: loktev@nccp.ru

При изготовлении композитов, а также изделий порошковой металлургии и в ряде других областей промышленности бывает важно обеспечить высокую однородность смешивания дисперсных материалов, порошков. Это особенно касается ядерного топлива, в которое необходимо вводить различного рода добавки. Каждая из добавок, обычно гораздо меньшего объёма, имеет требования по допустимой неоднородности распределения в смеси. Любая неоднородность снижает прочность изделия, мешает спеканию, нарушает эксплуатационные процессы.

На однородность полученного продукта влияет не только технология смешивания. Ясно, что дисперсные материалы имеют естественный предел однородности. Можно ввести параметр смеси - предел

однородности смеси. Это физический предел, который определяется средним объёмом смеси, приходящимся на одну среднюю частицу меньшей составляющей. Кроме того, есть статистическая неоднородность. Она проявляется, например, при перемешивании смеси, которая имела идеальную однородность распределения меньшей составляющей. Для того, чтобы оценить, возможно ли получить требуемую однородность распределения добавок в основной смеси, используют следующую модель.

В основе модели лежат такие гипотезы и положения:

1. Показатели остаточной (статистической) неоднородности смесей с одинаковым составом, представляющих в исходном состоянии: в одном случае - полностью разделённые составляющие, в другом - с идеальным их распределением, будут одинаковы после достаточно длительного периода перемешивания.

2. Начиная с определённого момента смешивания, неоднородность смеси изменяться не будет.

3. Оценка однородности смеси будет зависеть от объёма взятой пробы (объёма усреднения). Содержание добавленной составляющей в пробе, объёмом менее физического предела однородности, может колебаться от нуля до 100%. При увеличении объёма пробы, содержание добавки в ней будет стремиться к расчётному значению. При объёме усреднения, равном пяти объёмам физического предела, неоднородность смеси составляет 5%.

В данной работе на графической модели, составленной с помощью клеточного автомата, которая имитирует случайные отклонения частиц от их начального идеального распределения производится анализ неоднородности распределения частиц в зависимости от числа смещений и от объёма усреднения.

В результате, анализ модели позволяет сделать следующие выводы:

1. Дисперсионные смеси имеют физический предел однородности распределения фаз, который можно характеризовать объёмом смеси, приходящимся на одну частицу меньшей фракции, то есть элементарным

кубиком с ребром  $q = \sqrt[3]{\frac{V_{смеси}}{n_1}}$ , где  $V_{смеси}$  - объём смеси,  $n_1$  - среднее число частиц меньшей фракции.

2. Для определения разброса по содержанию меньшей фракции в смеси с ошибкой до нескольких процентов, минимальный объём пробы должен быть не меньше 5 объёмов физического предела однородности.

## ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И.И.Локтев, Ю.В.Гончаров, А.В.Струков

Публичное акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов"

Россия, г.Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94, 630110

E-mail: loktev@ncsp.ru

Для современных высокопроизводительных автоматизированных производственных процессов большое значение имеет хорошее понимание всех факторов и условий, влияющих на достижение необходимых качественных показателей продукции. Современные требования к топливу для ядерных реакторов, которые диктуются жёсткой конкуренцией на мировом рынке, чрезвычайно высокими требованиями по безопасности в атомной энергетике, концепцией «Ноль дефектов», исключающей риск отказов больше, чем  $10^{-6}$ , заставляют изготовителей прилагать большие усилия к безупречному освоению промышленными технологиями. Дополнительные ограничения на производство топлива накладывают требования по экономике, экологии, технике безопасности, производительности и управляемости процесса изготовления изделий.

Комплексную задачу помогают решить технологические исследования, которые продолжаются на заводе даже после освоения производства продукции. Основными методами являются статистические, экспериментальные и теоретические исследования. На производстве к теоретическим исследованиям следует отнести простые методы моделирования, которые не требуют специальной подготовки, дают наглядные, применимые для организации бездефектного производства, результаты. При такой постановке вопроса моделью может служить любое, очень конкретное или достаточно обобщённое описание состояния продукта или процесса его обработки, которое может дать представление об объекте исследования, например, в виде блок-схемы, в которой на ряду с технологическими операциями рассматривается состояние продукта на каждом его структурном уровне строения после каждой операции.

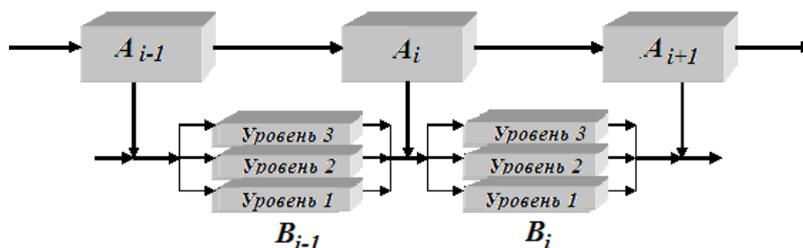


Рисунок 1. Блок-схема

Из опыта освоения производственных процессов в ПАО «НЗХК», особенно такого многофакторного как порошковое и таблеточное производство, можно привести ряд примеров моделирования, которые помогли решить те или иные практические задачи. Некоторые из них являются известными и могут быть использованы по стандартной схеме (математические, статистические, системные). Другие, лучше показать на конкретном примере, после чего они также могут быть использованы по той же или другой схеме.

В данном докладе приведены примеры общих и частных моделей технологических процессов, которые могут быть использованы при проведении технологических исследований и освоении новых производств.

## СОСТАВНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕССОВАНИЯ ТАБЛЕТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.И.Локтев, Е.В.Выходцев

Россия, г.Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94, 630110

Публичное акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов"

E-mail: loktev@nccr.ru

Модель технологической операции, может выявить основные параметры регулирования и их влияние на состояние конечного изделия. Чтобы такую модель было легче использовать для управления процессом изготовления изделий, она должна быть достаточно простой. Однако, простая модель даёт не очень точное описание объекта. Компенсировать этот недостаток можно двумя способами: 1 - применением нескольких простых моделей, которые позволили бы дополнить общий образ объекта недостающими элементами; 2 - привязкой опытным путём соответствующих параметров модели с конкретными свойствами физического объекта.

Предложенная составная модель прессования таблеток состоит из следующих моделей:

- модель напряжённо-сжатого состояния, рис. 1а, описывает поверхности скольжения порошка;
- модель распределения плотностей в таблетке, рис. 1б, показаны точки экстремальных плотностей;

- графическая модель затухающего течения материала по поверхности скольжения, рис. 1в;
- модель, представляющая распределение давления в прессовке с помощью силовых линий, рис. 1г;
- модель конечных элементов для оценки влияния сил внешнего и внутреннего трения, рис. 1д и 1е;
- модель радиального деформирования таблетки в момент перехода из упруго-сжатого состояния в свободное при выпрессовке таблетки из матрицы, выявляет механизм образование расслоений, рис. 1ж.

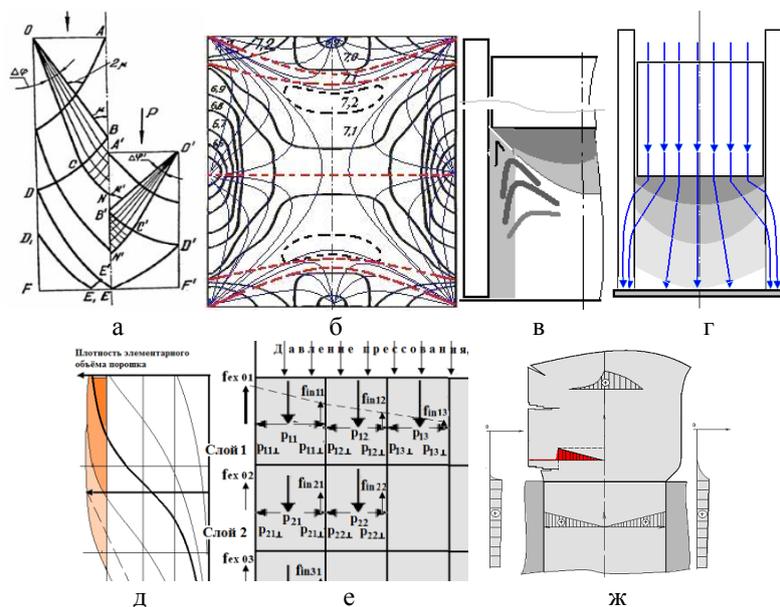


Рисунок 1. Составная модель

Модели не противоречат друг другу и способствует совершенствованию технологии изготовления.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ ГАЗООБРАЗНОГО UF<sub>6</sub>

Р.В. Малюгин, А.А. Орлов, А.Ф. Цимбалюк

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [malyugin@tpu.ru](mailto:malyugin@tpu.ru)

Происходящая в настоящее время модернизация разделительных предприятий требует, помимо замены основного технологического оборудования, решения ряда актуальных задач, которые включают разработку и проектирование конденсационно-испарительных установок (КИУ) повышенной производительности, оптимизацию режимов работы КИУ и усовершенствование их конструкции. Возможности применения экспериментальных подходов ограничены и требуют проведения длительных и дорогостоящих экспериментов на действующем оборудовании или на лабораторных установках, поэтому одним из перспективных путей решения, описанных выше производственных задач является создание математических моделей процессов тепло- и массопереноса, протекающих в КИУ при сублимации и десублимации UF<sub>6</sub>.

Данная работа посвящена математическому моделированию процесса десублимации газообразного UF<sub>6</sub> в вертикальной транспортные емкости, с учетом теплообмена через эллиптическое днище и боковую стенку емкости (крышка емкости с патрубком выступает из термостата, заполненного хладагентом) и конвекции газа в емкости.

Движение газообразного  $UF_6$  в емкости считалось двумерным осесимметричным и описывалось системой интегральных уравнений сохранения массы, импульса и энергии. Считалось, что газообразный  $UF_6$  не содержит примесей; газ является политропным, вязкость и теплопроводность при расчете газовой фазы не учитывались; температура внешней поверхности стенки емкости считается постоянной; температура фазового перехода равна равновесной температуре и определяется по давлению над слоем десублимата. Поскольку с течением времени толщина слоя десублимата увеличивается и объем емкости, занимаемый газом, уменьшается, для численного решения системы уравнений газовой динамики был выбран классический метод SIMPLE [1] на подвижной сетке.

Для расчета тепло- и массообмена происходящего при фазовом переходе  $UF_6$  из газообразного состояния в твердое использовались одномерное уравнение теплопроводности для стенки емкости и слоя десублимата и интегральный закон сохранения энергии для проверки теплового баланса, скорость увеличения толщины твердого  $UF_6$  определялась по условию Стефана. Для численного решения уравнения теплопроводности был использован итерационно-интерполяционный метод [2].

Рассмотренная нестационарная математическая модель десубликации  $UF_6$  в вертикальной транспортной емкости была реализована в виде пакета прикладных программ с дружественным к пользователю интерфейсом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patankar S.V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. – Washington D.C.: Hemisphere, 1980. – 205 p.
2. Гришин А.М., Зинченко В.И., Ефимов К.Н. и др. Итерационно-интерполяционный метод и его приложения. – Томск: Изд-во ТГУ. 2004. – 320 с.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УРАВНЕНИЯ КРИВОЙ ЖИЗНИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННОЙ ТЕОРИИ

В.И. Меркулов, А.П. Леонов, К.П. Арефьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mir1942@mail.ru](mailto:mir1942@mail.ru)

Рассмотрена методика определения параметров уравнения кривой жизни на основе математической модели термофлуктуационной теории разрушения диэлектриков по данным испытания двух партий образцов при двух температурах.

Согласно термофлуктуационной теории, предложенной в [1] применительно к полимерным диэлектрикам, время жизни определяется уравнением  $\tau = \tau_0 e^{\frac{D-\varphi}{2KT}}$ , где  $\tau_0$  – постоянная времени;  $D$  – энергия разрыва химической связи –C–C–, равная  $5.5 \cdot 10^{-19}$  Дж/св;  $\varphi$  – функция от действующих нагрузок. Для определения параметров уравнения были изготовлены две партии по 30 образцов из провода с изоляцией из блок-сополимера этилена с пропиленом. Испытания проводились при температурах 130 и 140 °С при воздействии переменного напряжения 7 кВ промышленной частоты, что соответствовало напряженности электрического поля  $1.9 \cdot 10^7$  В/м, определенной с помощью программы *Elcut* [2].

Среднее время до пробоя испытанных образцов составляло  $\tau_{1CP} = 1.029 \cdot 10^5$  с при  $T_1 = 403$  К и  $\tau_{2CP} = 6.521 \cdot 10^4$  с при  $T_2 = 413$  К с погрешностью не более 10%. При проведении расчетов на основе указанной математической модели использовалась прикладная программа *Mathcad* [3]. Расчет параметров

$$\varphi = \frac{2K \cdot (\ln \tau_{1CP} - \ln \tau_{2CP})}{D \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad \text{и} \quad \tau_0 = \frac{\tau_{1CP}}{e^{\left( \frac{D \cdot \varphi}{2KT_1} \right)}} = \frac{\tau_{2CP}}{e^{\left( \frac{D \cdot \varphi}{2KT_2} \right)}}$$

среднего времени до пробоя.

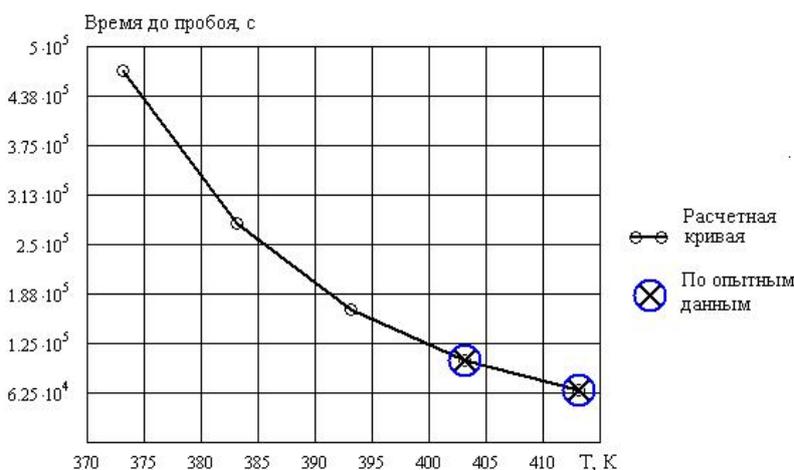


Рис. 1. Зависимость времени до пробоя от температуры

На рис.1. приведена расчетная зависимость времени жизни от температуры для исследованного материала изоляции при напряженности электрического поля  $1.9 \cdot 10^7$  В/м. Для сравнения на этом же рис. приведены значения среднего времени до пробоя по опытным данным. Как видно из рис.1 расчетная кривая хорошо согласуется с данными эксперимента. Это показывает, что при оценке времени жизни полимерных диэлектриков необходимо учитывать изменение  $\tau_0$  от величины воздействующей температуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. - М.: Энергоиздат, 1981. – 392 с.
2. ELCUT® Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.8. Руководство пользователя. Производственный кооператив ТОР, г. Санкт-Петербург, СПб.: НПКК «ТОР», 2010. – 212 с. URL: [Электронный ресурс]. – Режим доступа (дата обращения: 20.03.2015). <http://www.elcut.ru>.
3. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2003. – 448 с.

#### АЛГОРИТМ ПОЛУЧЕНИЯ КОМБИНАЦИИ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Е.Н. Некряч, А.С. Заворин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 636050

E-mail: [nen@tpu.ru](mailto:nen@tpu.ru)

Представлена математическая модель получения комбинации составляющих композитного топлива с заданными свойствами. Показано, что можно управлять параметрами композитного топлива, обеспечивая заданные свойства получаемого топлива в довольно широких пределах. Имеется возможность все результаты

расчётов представить не только в виде графиков и таблиц, но и представить результаты в виде аналитических зависимостей.

Предположим, что имеется три смеси с разными соотношениями параметров, характеризующих свойства топлива:

	Первый параметр	Второй параметр
Первая смесь, А	$A_1\%$	$A_2\%$
Вторая смесь, В	$B_1\%$	$B_2\%$
Третья смесь, С	$C_1\%$	$C_2\%$
Искомая смесь, D	$D_1$	$D_2$

Требуется получить из этих топливных смесей новую смесь, содержащую  $D_2\%$ , например, второго компонента. Необходимо определить, в каких пределах при этом может меняться содержание первого компонента  $D_1$ .

Математически задача ставится следующим образом: найти неотрицательные решения уравнения

$$\frac{A_2x+B_2y+C_2z}{x+y+z} = D_2, \quad (1)$$

здесь  $x, y, z$  – количество взятой первой, второй и третьей смеси, которые дают функции  $D_1(x, y, z) = \frac{A_1x+B_1y+C_1z}{x+y+z}$  наибольшие и наименьшие значения. Эти найденные значения и будут давать пределы изменения первого компонента (параметра).

Такую задачу можно решать для каждого отдельного случая, так как в зависимости от значений параметров, приведённых в таблице, путь решения несколько отличается. Однако, задав следующие условия:  $A_1 > A_2, B_1 < B_2, C_1 > C_2, A_1 > D_2 > A_2, A_1 > B_1, C_1 > B_1, B_2 > B_1, A_2 < B_2, C_2 < A_2, A > C_2, A < B_2, A > A_2$ , которые обеспечивают неотрицательность решений уравнения (1), можно получить аналитический вид экстремальной функции, которая будет зависеть от двух переменных (за счёт уравнения (1) одна из переменных исключается). Если исключить переменную  $y$ , то получится следующее выражение для этой функции:

$$D_1(x, z) = \frac{(A_1B_2 - D_2A_1 + D_2B_1 - B_1A_2)x + (D_2B_1 - B_1C_2 + C_1B_2 - D_2C_1)z}{(B_2 - A_2)x + (B_2 - C_2)z}$$

Воспользовавшись тем, что полученная функция однородная, можно получить пределы, в которых заключены её значения. Эти пределы таковы:

$$\frac{A_1(B_2 - D_2) + B_1(D_2 - A_2)}{B_2 - A_2} \quad \text{и} \quad \frac{B_1(D_2 - C_2) + C_1(B_2 - D_2)}{B_2 - C_2}$$

## **МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЕГЭ ПОСТУПИВШИХ НА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ**

Д.А.Новосельцева, А.А. Михальчук

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Е-mail: [dary\\_2503@mail.ru](mailto:dary_2503@mail.ru)

В данной работе выполнен многомерный статистический анализ результатов ЕГЭ [1] по трем основным предметам 473-х студентов 12-ти групп очной формы обучения ФТИ ТПУ (группа 0В31 направления подготовки «Прикладная математика и информатика»; 0Б31 – «Физика»; 0А31-5 – «Ядерная физика и технологии»; 0Д31 – «Техническая физика»; 0731-2 – специальность «Электроника и автоматика физических

установок); 0431-2 – специальность «Химическая технология материалов современной энергетики»). Рассмотрение проведено в системе 3-х показателей вступительных испытаний (ПВИ): ЕГЭр – результаты ЕГЭ по русскому языку, ЕГЭм – по математике, ЕГЭф – по физике. Статистическое моделирование проведено в системе Statistica.

На основе корреляционного анализа ПВИ методом главных компонент бала построена факторная модель ПВИ, в рамках которой были получены новые факторные показатели. Факторные нагрузки первоначальных ПВИ разделились по факторам следующим образом: фактор 1 – фактор физико-математических знаний студентов (Ффм) характеризуется положительной корреляционной связью с ЕГЭм и ЕГЭф; фактор 2 – фактор гуманитарных знаний студентов (Фг) характеризуется положительной корреляционной связью с ЕГЭр.

В построенном 2-х мерном факторном пространстве {Ффм, Фг} проведен кластерный анализ учебных групп ФТИ по их групповым средним. В результате кластеризации было получено разбиение 12 групп на 5 кластеров: К1– группы 0А33, 0432; К2 – 0А32, 0А34, 0В31, 0431; К3 – 0731, 0732; К4 – 0А35, 0Д31; К5 – 0А31, 0Б31. Согласно дисперсионному анализу кластеры групп студентов различаются высоко значимо по фактору Ффм (уровень значимости  $p \approx 0,00001 < 0,0005$ ) и сильно значимо по Фг (на уровне значимости  $0,0005 < p \approx 0,003 < 0,005$ ). Анализируя кластерные средние, можно сделать вывод, что группы кластера К1 имеют высокие знания по техническим предметам и средние по гуманитарным; К2 – средние знания по всем предметам; К3 – высокие знания по всем предметам; К4 – средние по техническим и низкие по гуманитарным; К5 – низкие по техническим и средние по гуманитарным.

Построенные факторная и кластерная модели образовательного пространства на примере ЕГЭ могут быть применены при проведении мониторинга вступительных испытаний и текущей успеваемости студентов вузов [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конкурс 2013 года [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://abiturient.tpu.ru/navigation/how/konkursyi-proshlyix-let>. – 29.04.2015
2. Терехина Л.И. Применение факторного подхода кластеризации результатов мониторинговой оценки знаний по математике в вузе // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: [www.science-education.ru/121-18605](http://www.science-education.ru/121-18605). – 29.04.2015.

#### ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА МЛАДШИХ КУРСАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

Е.И. Подберезина, Э.Н. Подскребко, Е.Н. Некряч

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [pei@tpu.ru](mailto:pei@tpu.ru)

Процесс изучения курса математического анализа в техническом вузе представляет собой разработку и создание банка важнейших математических моделей, в первую очередь предназначенных для решения задач дисциплин естественнонаучного и технического цикла. Такими моделями являются классы функций, например, элементарные, имеющие предел, непрерывные, дифференцируемые, интегрируемые.

Построение математической модели начинается с формирования основополагающего понятия, которому, как правило, предшествует решение конкретных практических задач с последующим

абстрагированием от их конкретного содержания и выявления общего, присущего им математического смысла. Так появляются, например, понятия предела, производной, интеграла. Они характеризуются высокой степенью абстрактности, значительной информационной емкостью, обеспечивающей универсальность их применения.

Основополагающее свойство функции является системообразующим в процессе построения классов функций.

Остановимся более подробно на формировании класса функций, имеющих конечный предел в данной точке:  $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A$ . Определение предела – это различные представления стремления  $f(x) \rightarrow A$  при  $x \rightarrow x_0$ .

С физической точки зрения понятие предела характеризует поведение функции в точке  $x_0$ , выявляя в нем причинную обусловленность моделируемого ею процесса. Это обстоятельство позволяет понять, что предел функции может быть определен только в предельной точке  $x_0$  множества  $X$ , на котором задана функция.

Наиболее общим определением предела функции в точке является определение на языке окрестностей, характеризующее его геометрический смысл и являющееся основанием удобного для практического применения определения предела на языке  $\varepsilon - \delta$ :  $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A \Leftrightarrow \forall \varepsilon > 0 \exists \delta(\varepsilon) > 0 \forall x: x \in X \cap 0 < |x - x_0| < \delta(\varepsilon) \Rightarrow |f(x) - A| < \varepsilon$ . С помощью этого определения доказательство равенства  $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A$  сводится к установлению эквивалентности двух неравенств.

Наконец, третье определение предела функции «на языке последовательностей» (по Гейне):  $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A \Leftrightarrow \forall \{x_n\}: x_n \neq x_0, x_n \rightarrow x_0 \Rightarrow f(x_n) \rightarrow A$ . Определение предела по Гейне используется как в доказательствах, так и в нахождении пределов и приближенных вычислениях.

Как и любое математическое высказывание, понятие предела является логической формой, позволяющей работать с ним по правилам математической логики, например, строить его отрицание. Множество всех функций, имеющих конечный предел в точке  $x_0$ , с арифметическими операциями над функциями, композициями и сравнением функций с помощью соответствующих теорем предельного перехода образуют целый класс функций, имеющих конечный предел в точке  $x_0$  со своей операционной системой.

Выделяя в этом классе подмножество постоянных функций и бесконечно малых функций, можно определить его структуру: каждая функция этого класса представима в виде суммы постоянной функции и бесконечно малой функции. Это свойство указывает на определяющую роль бесконечно малых функций в понятии предела и является характеристическим свойством функции, имеющей конечный предел в точке.

Аналогичным образом определяется класс бесконечно больших в точке  $x_0$  функций со своей операционной системой и устанавливается его связь со множеством функций, бесконечно малых в точке  $x_0$ . Таким же образом формируются классы функций, имеющих конечный и бесконечный пределы на бесконечности с соответствующей операционной системой.

Добротное освоение азов математического моделирования станет залогом успешного решения практических задач в различных областях будущей профессиональной деятельности.

## РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

А.С. Попов, А.В. Обходский

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: asptomsktpr@gmail.com

В настоящее время вопрос о необходимости создания новых материалов, с заранее заданными свойствами, становится наиболее популярным. Несмотря на высокие достижения в области создания наноматериалов и обычных сплавов, задачи расчета перед экспериментом остаются выгодными как экономически, так и во временном плане. Цель настоящей работы – провести исследование методов расчета новых материалов, их существующую реализацию в виде программных продуктов, а также сформировать идеи по созданию высокопроизводительного программного комплекса по расчету свойств новых материалов на основе неэмпирических вычислений (не требующих предварительных экспериментальных данных).

Среди множества методов, позволяющих реализовать вычисления атомных структур, наиболее выделяются методы расчетов из первых принципов (Ab Initio) и методы молекулярной динамики. Вышеупомянутые методы могут использоваться как по отдельности (что приведет к потере точности или увеличению времени расчета соответственно), так и совместно. Выполненный в ходе исследования анализ литературы показал, что наиболее часто используется метод расчетов из первых принципов, а именно теория функционала плотности, где электроны описываются не по отдельности, как единичные, без учета корреляционных эффектов (методы Хартри), а как некий функционал, зависимый от выбранных параметров. Обобщенная схема, включающая в себя вышеупомянутые методы, приведена на рисунке 1. Таким образом, перед тем, как приступить к одному из методов Ab Initio, можно воспользоваться методами молекулярной динамики, полуэмпирическими методами или же взять готовые экспериментальные данные, содержащие геометрические параметры кристаллической решетки (можно пропустить этот шаг, если воспользовался, к примеру, расчетами геометрических параметров решетки с помощью псевдопотенциала). На следующем шаге производится расчет одним из методов и, после проверок, получается результат. В практическом плане полученный результат интересен тем, что на его основе можно рассчитать прочность [1], электронную структуру [2], оптические свойства [3], границы формирования зерен [4], теплопроводность, упругость [5] и многое другое. Таким образом, не приступая к эксперименту, при наличии соответствующего программного комплекса, можно вычислить интересующие свойства материалов с высокой точностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение о предоставлении субсидии RFMEFI57814X0095 от 28.11.2014 г.



Рисунок 1. Общая схема расчетов атомных структур

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Искандаров А.М., Умено Ё. Теоретическая прочность кремния при сдвиге в широком интервале температур // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2012. – Т.9. – № 1 – С. 89–93.
- Кравцова А.Н., Гуда А.А., Мазалова В.Л., Солдатов А.В., Джонсон Р.Л. Электронная структура нанокластеров титана: анализ методом теории функционала плотности // *Наноструктуры. Математическая физика и моделирование*. – 2011. – Т.4. – № 1. – С. 15–22.
- Гажулина А.П., Марычев М.О. Первопринципные расчеты линейных оптических свойств кристаллов тартратов олова, цинка, бария, кобальта, железа, свинца в программном комплексе Wien2k // *Физика твердого тела. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. – 2012. – Т.1. – № 1. – С. 37–44.
- Верховых А.В., Мирзоев А.А. Ab Initio моделирование энергии формирования границы зерна в ОЦК-железе // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика»*. – 2013. – Т. 5. – № 1. – С. 77–81.
- Волков-Богородский Д.Б. Аналитико-численный метод оценки эффективных характеристик структурно-неоднородных материалов // *Мезо-, нано-, биомеханика и механика природных процессов. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. – 2011. – Т.2. – № 4. – С. 407-409.

**АСИМПТОТИКИ И НЕВЯЗКА ОДНОМЕРНОГО НЕЛОКАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ФИШЕРА-КОЛМОГорова-ПЕТРОВСКОГО-ПСКУНОВА С ДРОБНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ**

А.А.Прозоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [aap51@tpu.ru](mailto:aap51@tpu.ru)

Рассматривается одномерное нелокальное уравнение для плотности распределения частиц  $u(x, t)$  на отрезке на отрезке  $x \in [-l, l]$ .

$$u_t(x, t) = Du_\alpha(x, t) + au(x, t) - u(x, t) \int_{-l}^l b_\nu(x - y)u(y, t)dy.$$

Для решения нелокального одномерного уравнения Фишера–КПП с дробными производными в операторе диффузии применяется асимптотический метод. Дробная производная в работе определяется в соответствии с подходами Вейля, Грюнвальда–Летникова и Лиувилля для периодических функций [1]. Полученные решения являются пространственно однородными и монотонно зависят от времени. Асимптотические решения строятся в классе функций, которые являются возмущениями найденного точного квазистационарного решения. Построенные асимптотики удовлетворяют уравнению с точностью до  $O(1/T^2)$  ( $T$  – характерное время эволюции системы), описывают процесс образования структур и стремятся к точному квазистационарному решению при  $T \rightarrow \infty$ . Норма невязки уравнения стремится к нулю при характерном времени эволюции системы, а значит решение стремится к точному.

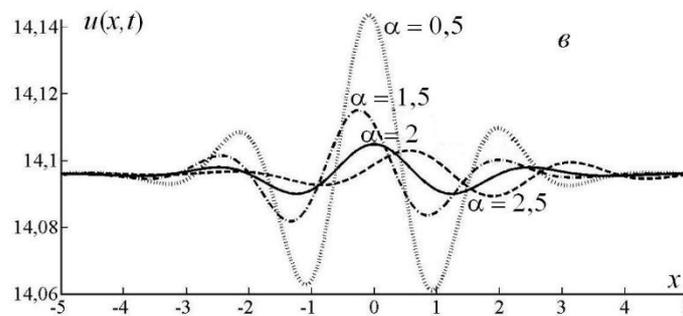


Рисунок 1. Плотность распределения  $u(x, t)$  в момент времени  $t = 20$

Как видно из рис. 1, из начального симметричного распределения гауссовского типа с одним пиком в процессе эволюции, как и в случае обычной диффузии, формируется распределение с дополнительными пиками, поведение которых зависит от порядка дробной производной. Высота этих пиков увеличивается по сравнению с высотой пиков при обычной диффузии, и распределение перестает быть симметричным. В случае же обычной диффузии график симметричен относительно начала координат. Чем ниже порядок дробной производной, тем больше смещение графика по сравнению с обычной диффузией и сильнее отклонение от стационарного состояния. Наличие дробных производных приводит к дрейфу центра масс популяции.

$$u(x, t) = \frac{\beta_{00}e^{at}}{1 + \frac{b_0\beta_{00}}{a}(e^{at} - 1)} + \frac{1}{T} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \frac{\beta_{1j}e^{\bar{a}_j t} e^{ij\pi x/l}}{\left[1 + \frac{b_0\beta_{00}}{a}(e^{at} - 1)\right]^{(b_j + b_0)/b_0}}, \quad \bar{a}_j = \left(D \left(\frac{ij\pi}{l}\right)^\alpha + a\right).$$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. – Минск: Наука и техника, 1987. – 688 с.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЦЕНКИ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ СТАЦИОНАРНОГО ГАУССОВСКОГО МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОГО ТИПА

О.В. Рожкова, Н.С. Демин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [rov@tpu.ru](mailto:rov@tpu.ru)

Классическая теория обработки сигналов, математическими моделями которых являются стохастические процессы, основана на предположении, что текущие значения наблюдаемого процесса (принимаемого сигнала) зависят только от текущих значений ненаблюдаемого процесса (информационного сигнала) [1–3]. На практике, весьма распространенной является ситуация, когда текущие значения наблюдаемого процесса зависят также и от прошлых значений ненаблюдаемого процесса (наблюдения с памятью, наблюдения с временными задержками) [4–7], что обуславливается инерционностью измерителей и конечным временем прохождения сигналов. Достаточно исследованной для данного класса наблюдений является задача фильтрации [4–6], хотя задача экстраполяции (прогноза, предсказания) является также важной, поскольку ее решение дает информацию о будущих значениях информационного сигнала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. – М.: Советское радио, 1972. – Т. 1. – 744 с.
2. Девис М.Х.А. Линейное оценивание и стохастическое управление. – М.: Наука, 1984. – 205 с.
3. Тихонов В.И., Кульман Н.К. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов. – М.: Советское радио, 1975. – 704 с.
4. Basin M.V., Zuniga M.R. Optimal linear filtering over observation with multiple delays // Intern J. of Robust and Nonlinear Contr. – 2004. – V.14, – № 8. – P. 685-696.
5. Basin M.V., Zuniga M.R., Rodriguez J.G. Optimal filtering for linear state delay systems // IEEE Trans. on Automatic Control. – 2005. – V. AC-50, – № 5. – P. 684-690.
6. Wang Z., Ho D.W.C. Filtering on nonlinear time-delay stochastic systems // Automatic . – 2003. – V. 39, – № 1. – P. 101-109.
7. Демин Н.С., Рожкова О.В., Рожкова С.В. Обобщенная скользящая экстраполяция стохастических процессов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с памятью // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2000. – № 4. – С. 39–51.

### ТЕОРИЯ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ КАК МЕТОД ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ УРАНА

Д.А.Сериков, А.О. Очоа Бикэ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [dmitrii\\_serikov@mail.ru](mailto:dmitrii_serikov@mail.ru)

В данной работе рассматривается возможность применения теории клеточных автоматов к моделированию процесса кристаллизационного аффинажа нитрата уранила из азотнокислого раствора.

Кристаллизационный аффинаж дает некоторые преимущества в сравнении с PUREX-технологией, получившей широкое распространение в наше время [1]. Процесс кристаллизации не требует использования

горючих органических растворителей, поэтому использование данного метода значительно безопаснее. Помимо этого, некоторые процессы, связанные с растворителем, как, например, его промывка, могут быть исключены, что ведет к упрощению технологии переработки ОЯТ, а также уменьшению объема жидких радиоактивных материалов.

При моделировании процесса кристаллизации возникает необходимость учета сложных фазовых переходов с промежуточными соединениями, выдвижения различных гипотез относительно формирования фаз и распределения полей концентраций и температур, что создает определенные проблемы в случае с использованием аппарата дифференциальных уравнений, который не всегда бывает эффективен, либо требует больших затрат времени и мощностей.

Теория клеточных автоматов является альтернативой традиционно применяемому аппарату дифференциальных уравнений. Его работа основана на моделировании сложных систем, состоящих из простых подсистем, результатом коллективного функционирования которых является сложное поведение всей системы в целом. Модели клеточных автоматов явным образом сводят макроскопические явления к точно определенным микроскопическим процессам [2]. К тому же, структура клеточного автомата идеально пригодна для реализации на современных ЭВМ.

Разработанная математическая модель описывает процесс роста кристалла гексагидрата нитрата уранила и позволяет оценить параметры, оказывающие влияние на форму кристалла. Данная модель реализована с использованием гексагональной решетки, что обусловлено её большей изотропностью в сравнении с рассмотренными треугольной и прямоугольной решетками.

В работе представлено математическое описание модели, законы эволюции системы, а также текущие результаты работы модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Takahiro Chikazawa. Batch Crystallization of Uranyl Nitrate/ Takahiro Chikazawa, Toshiaki Kikuchi, Atsuhiko Shibata, Tomozo Koyama, Shunji Homma // Nuclear science and Technology, vol. 45, No. 6, p. 582–587, 2008.
2. Абашева, Э.Р. Исследование и моделирование процессов кристаллизации с применением клеточных автоматов / Э.Р. Абашева: РХТУ им. Д. И. Менделеева. Москва, 2007.

#### РАСЧЁТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВИГГЛЕРА НА УСКОРИТЕЛЕ LUCX@КЕК

Я.Н. Сутыгина, А.Е. Харисова, Д.А. Шкитов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [yana.sutygina@mail.ru](mailto:yana.sutygina@mail.ru)

В 2015 году на электронном линейном ускорителе LUCX (КЕК) в Японии планируется установка компактного плоского вигглера [1] для генерации электромагнитного излучения в ТГц диапазоне. Проведение экспериментов по генерации излучения будет проводиться при участии сотрудников кафедры Прикладной физики ФТИ ТПУ. Для того чтобы провести расчёты характеристик ондуляторного излучения (ОИ), необходимо знать характеристики магнитного поля, создаваемого вигглером. Для расчёта магнитного поля был выбран код Radia [2], который прошёл широкую апробацию при моделировании и оптимизации магнитного поля различных устройств [3]. С помощью функционала данной программы была построена геометрия (Рис. 1) вигглера ускорителя LUCX на основе постоянных магнитов. Также были проведены расчёты магнитного поля, вдоль траектории движения пучка электронов в вигглере, для различных значений ширины зазора между

полюсами магнитов. Было проведено сравнение величины магнитного поля, полученной при моделировании, с результатом, полученным ранее при измерениях. В дальнейшем планируется провести учёт ошибок при установке вигглера на тракте ускорителя, и анализ их влияния на характеристики магнитного поля вдоль траектории движения пучка. Например, это может быть не центральный пролёт пучка в вигглере или наличие угла между осью вигглера и траекторией пучка. Данные о магнитном поле во всём объёме зазора вигглера позволят провести детальный расчёт и оптимизацию характеристик ОИ, задавая произвольные значения магнитного поля, например, с помощью кода [4].

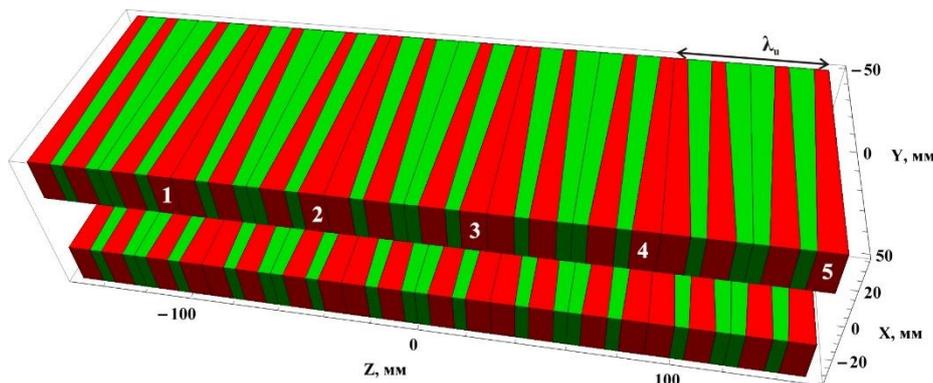


Рисунок 1. 3D модель вигглера

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kashiwagi S., et al. Rigorous evaluation of the edge-focusing wiggler based on the magnetic field measurement // PRST AB. – 2009. – V.12. – P. 120703.
2. Chubar O., et al. A 3D magnetostatics computer code for insertion devices // J. Synchrotron Rad. – 1998. – V.5. – P. 481–484.
3. Bødker F. In-vacuum and FEL undulators at DANFYSIK A/S // Proc. of EPAC. – 2006. – P. 3553–3555.
4. Tanaka T., et al. SPECTRA - a synchrotron radiation calculation code // J. Synchrotron Rad. – 2001. – V.8. – P. 1221.

### БОЛЬШИЕ ЧИСЛА П. ДИРАКА И АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ АНАЛИЗ

А.М.Сухотин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, просп. Ленина, 30, 634050

E-mail: [asukhotin@yandex.ru](mailto:asukhotin@yandex.ru)

**О больших числах П. Дирака.** В условиях кризиса построения общей теории поля П. Дирак высказал [1] гипотезу об инвариантности некоторых безразмерных функций абсолютных физических констант, названных позднее Большими числами Дирака  $d_i \in \{GND\}$ . Для многих  $GND$  построены адекватные модели. Вот примеры некоторых Больших чисел Дирака:  $d_1$ – отношение радиуса Вселенной к радиусу электрона  $\sim 4,4 \cdot 10^{40}$ ,  $d_2$ – отношение массы Вселенной к массе электрона  $\sim 4,3 \cdot 10^{41}$ ,  $d_3$ – отношение кулоновской силы к силе тяготения  $\sim 4,2 \cdot 10^{42}$ ,  $d_4$ – отношение радиуса Вселенной к длине Планка  $\sim 0,7 \cdot 10^{61}$ ,  $d_5 \triangleq GTk$ , где  $G$ – гравитационная постоянная,  $T$ – возраст Вселенной,  $[k] = [GT]^{-1}$  [2, Гл. 11]. Э. Теллер допускал [3] изменчивость некоторых  $GND$ . Так если в  $d_5$   $k$  считать константой, тогда гравитационная постоянная  $G$  будет убывающей функцией времени (возраста Вселенной). Уоррен Кэри (S.Warren Carry) более полувека (1935–1991 г.г.) изучал закономерности развития Земли и описал [2] борьбу догм в истории Земли, начав от первобытных представлений человека о Земле и Мире и закончив состоянием этой борьбы в конце XX века. Например, для

объяснения дрейфа Материков он пришёл к согласию с гипотезой увеличения объёма Земли. Из двух наиболее вероятных гипотез увеличения объёма Земли: 1) за счёт увеличения массы и 2) из-за уменьшения гравитационной постоянной  $G$ , У. Кэри выбирает, следуя П. Дираку, вторую. При этом изменение за год гравитационной постоянной  $G$  по разным источникам оценивается как  $\Delta G \sim -10^{-10} G$  [2, Гл. 11].

**Альтернативный анализ.** Мы ввели [4] новые понятия и пересмотрели ряд устаревших догм. Это позволило доказать, в частности: 1) существование подмножества неограниченных конечным числом последовательностей Коши, каждая из которых сходится к соответствующему бесконечно большому числу (ББЧ). 2) Теореме А. Неограниченная дифференцируемая в  $\infty$  функция  $f: R \rightarrow R$  сходится к соответствующему ББЧ  $\cong \Omega(f)$  тогда и только тогда, когда  $f'(\infty) = 0$ . 3) Если для некоторого  $d_k \in \{GND\}$  существует модель  $d_k(x) = f(x)$ , тогда Теорема А даёт критерий того, что  $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) \in \Omega(f)$ . 4) Существует  $\Omega_\pi$ , определяющее количество всех простых чисел  $p$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P.A.M. Dirac. The Cosmological Constants. Nature, 1937, vol. 139, p. 323.
2. Кэри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной: История догм в науках о Земле: Пер. с англ.—М.: Мир, 1991—447 с.
3. E. Teller. On the change of physical constants. Physical Review, 1948, vol. 73 pp. 801-802.
4. Sukhotin A.M. Alternative analysis: the new results and some problems//Abstracts of the International Congress of Mathematics, August 13–21, 2014, Seoul, Korea. p. 268

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРА МОЩНОСТИ СТАЦИОНАРНОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА В ВИДЕ СПЛАЙНА ПЕРВОГО ПОРЯДКА ПРИ СЛУЧАЙНОМ ЧИСЛЕ ДАННЫХ В МОМЕНТАХ ИЗМЕРЕНИЙ

И.Г. Устинова, Е.И. Подберезина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [igu@sibmail.com](mailto:igu@sibmail.com)

Спектр мощности также как и функция корреляции является одной из важнейших характеристик второго порядка случайного процесса [1]. При решении задачи моделирования спектра мощности случайного процесса необходимо выбрать математическую модель, которая бы адекватно описывала спектр мощности, а также задание схемы измерений процесса. Рассмотрим задачу оценки спектра мощности стационарного случайного процесса в виде сплайна первого порядка, когда в каждый момент времени производится случайное число измерений. Аналогичная задача рассматривается в работе [2], однако, в ней используется другой подход к получению сплайна, а именно, подход, в котором сначала ищется оценка функции корреляции, а затем уже, находится оценка спектра мощности, причем коэффициенты сплайна оцениваются все сразу.

Пусть значения процесса  $y(t)$  измеряются на отрезке времени  $[0; T]$ . Нам известна последовательность значений  $y_1, y_2, \dots, y_N$ , где  $y_i = \frac{y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in_i}}{n_i}$ . Здесь  $n_i$  – случайные величины, распределенные по закону

Пуассона с параметром  $\lambda$ . Моменты измерений  $t_i$ ,  $i = \overline{1, N}$  известны точно. Будем полагать, что  $y_i = y(t_i) + \xi_i$ , где  $\xi_i$  – независимые случайные величины, причем,  $M[\xi_i] = 0$ ,  $D[\xi_i] = \sigma^2$ ,  $M[y(t_i)] = 0$ ,  $M[y(t_j)y(t_i)] = R[t_j - t_i]$ .

По результатам наблюдений требуется построить оценку  $\hat{S}(\omega)$  спектра мощности  $S(\omega)$  в виде сплайна первого порядка.

Для решения поставленной задачи разобьем всю ось частот  $\omega$  на отрезки  $[0; \Omega]$ ,  $[\Omega; 2\Omega]$ ,  $[2\Omega; 3\Omega]$ .

Рассмотрим статистику:

$$Q = \frac{1}{\lambda^2 \pi \Gamma} \sum_{i,j; i \neq j} n_i n_j y_i y_j \varphi(t_j - t_i) \quad (1)$$

где для функции  $\varphi(\tau)$  справедливо условие:

$$\varphi(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(\omega) \cos \omega \tau d\omega.$$

Усреднив  $Q$  по величинам  $n_i$ , получим выражение  $\bar{Q} = \frac{1}{\pi \Gamma} \sum_{i,j; i \neq j} y_i y_j \varphi(t_j - t_i)$

$M[\bar{Q}] = \frac{1}{\pi \Gamma} \sum_{i,j; i \neq j} R[t_j - t_i] \varphi[t_j - t_i] \approx \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(\omega) S(\omega) d\omega$ . Рассматривая интеграл, в котором

$S(\omega) = S_{k-1} \frac{k\Omega - \omega}{\Omega} + S_k \frac{\omega - (k-1)\Omega}{\Omega}$  находим явный вид  $\Phi(\omega)$  и  $\varphi(\tau)$ . Подставляя  $\varphi(\tau)$  в (1) находим

последовательно, которые соединяем отрезками прямых, что и дает оценку  $S(\omega)$  в виде сплайна первого порядка при случайном числе данных в моментах измерений. Из построения оценок коэффициентов сплайна следует, что полученные оценки узлов сплайна являются несмещенными. Получены статистические характеристики оценок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устинова И.Г., Лазарева Е.Г., Подберезина Е.И. Оценка спектра мощности стационарного случайного процесса сплайном первого порядка – Томск: Известия Томского политехнического университета.– 2014, – Т. 325. – № 2. – с.35 – 40.
2. Терпугов А.Ф., Константинова И.Г. Оценка спектра мощности стационарного случайного процесса сплайнами первого порядка при случайном числе измерений. // Вестник ТГУ, 2000. – Т. 269. – С. 85–89.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТRENDA ВРЕМЕННОГО РЯДА В ВИДЕ СПЛАЙНА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА ПРИ СЛУЧАЙНОМ ЧИСЛЕ ДАННЫХ В МОМЕНТАХ ИЗМЕРЕНИЙ

И.Г. Устинова, Е.Г. Пахомова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [igu@sibmail.com](mailto:igu@sibmail.com)

Важнейшей задачей функционирования сложных технических систем является задача выделения тренда изменения параметров, которые характеризуют работу системы в некоторые фиксированные моменты времени. Основными аспектами решения такой задачи являются: выбор математической модели, которая бы адекватно описывала тренд наблюдаемых значений случайного процесса, а также задание схемы наблюдений процесса.

В классической теории временных рядов измерения производятся через равные промежутки времени и в каждый момент времени – ровно одно измерение [1, 2]. Однако и возможна и другая схема измерений, при которой в каждый момент времени производится случайное число измерений [3].

Пусть имеется временной ряд  $y(t) = f(t) + \xi(t)$ , представляющий собой сумму некоторой детерминированной функции  $f(t)$ , которая является трендом процесса  $y(t)$  и  $\xi(t)$  – случайной функции, появление которой определяется ошибками измерений, помехами и т.д. Будем полагать, что помехи измерений  $\xi_i = \xi(t_i)$ ,  $i=1, 2, \dots$  – независимые, одинаково распределенные случайные величины с математическим ожиданием  $M[\xi_i] = 0$  и дисперсией  $D[\xi_i] = \sigma^2$ . Нам известна последовательность значений  $y_1, y_2, \dots, y_N$ , где  $y_i = \frac{y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in_i}}{n_i}$ . Здесь  $n_i$  – случайные величины, распределенные по закону Пуассона с параметром  $\lambda$ .

Будем считать, что сами моменты времени  $t_i$  нам известны. Относительно тренда предполагается, что он представляет собой сплайн третьего порядка. В этом случае весь отрезок наблюдения  $[0; T]$  разбивается на части одинаковой длины:  $[0; T_0], [T_0; 2T_0], \dots, [(k-1)T_0; kT_0]$ . На каждом таком отрезке тренд оценивается в виде полинома третьей степени. На границах отрезков эти полиномы сшиваются так, чтобы получилась непрерывная кривая. Такая кусочно-полиномиальная кривая носит название сплайна [4, 5, 6]. На  $j$ -м интервале тренд представляется в виде полинома третьего порядка  $f_j(t) = a_j + b_j \frac{t}{T_0} + c_j \left(\frac{t}{T_0}\right)^2 + d_j \left(\frac{t}{T_0}\right)^3$ . Для сшивания полиномов на концах интервалов, должно выполняться условие:  $f_{j-1}(T_0) = f_j(0)$ . По результатам измерений значений  $y_i^{(j)}$  на  $j$ -м интервале необходимо построить оценки коэффициентов  $a_j, b_j, c_j$  и  $d_j$ . Оценки недостающих коэффициентов на  $j$ -м интервале  $b_j, c_j, d_j$  найдем методом наименьших квадратов, исходя из условия:

$$Q = \sum_{i=1}^N n_i \left[ y_i^{(j)} - \left( \hat{a}_j + b_j \frac{t_i}{T_0} + c_j \left(\frac{t_i}{T_0}\right)^2 + d_j \left(\frac{t_i}{T_0}\right)^3 \right) \right]^2 \Rightarrow \min_{b_j, c_j, d_j},$$

$N$  – число измерений на  $j$ -м интервале. Оценки неизвестных параметров находятся в явном виде, исходя из системы  $\mathbf{AX} = \mathbf{Y}$ , где:

$$\mathbf{A} = \frac{1}{T_0^6} \begin{bmatrix} T_0^4 \sum_{i=1}^N n_i t_i^2 & T_0^3 \sum_{i=1}^N n_i t_i^3 & T_0^2 \sum_{i=1}^N n_i t_i^4 \\ T_0^3 \sum_{i=1}^N n_i t_i^3 & T_0^2 \sum_{i=1}^N n_i t_i^4 & T_0 \sum_{i=1}^N n_i t_i^5 \\ T_0^2 \sum_{i=1}^N n_i t_i^4 & T_0 \sum_{i=1}^N n_i t_i^5 & \sum_{i=1}^N n_i t_i^6 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \hat{b}_j \\ \hat{c}_j \\ \hat{d}_j \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \frac{1}{T_0^3} \begin{bmatrix} T_0^2 \sum_{i=1}^N n_i (y_i^{(j)} - \hat{a}_j) t_i \\ T_0 \sum_{i=1}^N n_i (y_i^{(j)} - \hat{a}_j) t_i^2 \\ \sum_{i=1}^N n_i (y_i^{(j)} - \hat{a}_j) t_i^3 \end{bmatrix}.$$

Исследованы статистические характеристики полученных оценок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976. 755 с.
2. Кендалл М.Д., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
3. Устинова И.Г., Пахомова Е.Г. Сплайновая оценка тренда временного ряда при случайном числе данных в моменты измерений. порядка – Томск: Вестник Томского государственного университета. – 2015, – № 1(33). – с. 20 – 37.
4. Завьялов Ю.С., Леус В.А., Скороспелов В.А. Сплайны в инженерной геометрии. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
5. Корнейчук Н.П. Сплайны в теории приближения. М.: Наука, 1984. 352 с.

6. Лифшиц К.И. Сглаживание экспериментальных данных сплайнами. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991. 180 с.

## ГАЛАКТИКИ КАК УСКОРИТЕЛИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

В.В. Учайкин, Р.Т. Сибатов, О.П. Харлова

Ульяновский государственный университет

Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого 42, 432017

Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации

Россия, г. Ульяновск, ул. Можайского 8/8, 432071

E-mail: [vuchaikin@gmail.com](mailto:vuchaikin@gmail.com)

Впервые вопрос о стохастическом механизме ускорения космических лучей в случайно неоднородном магнитном поле межзвёздной галактической среды рассмотрен в знаменитой работе Ферми 1949 года [1]. На основании имеющихся тогда астрономических данных автор представлял это поле как случайное распределение блуждающих магнитных облаков, занимающих около 5% межзвёздного пространства, а движение заряженной частицы -- как последовательность случайных столкновений с этими облаками. Небольшое различие в столкновениях с набегающими и убегающими облаками приводит к постепенному повышению энергии частиц (ускорению). Процесс это очень медленный: чтобы увеличить энергию в  $e$  раз требуется 10 миллионов столкновений. В таком случае необходимость учёта флуктуаций отпадает, а в их отсутствие энергия частицы возрастает экспоненциально, что при дополнительном предположении об экспоненциальном распределении возраста наблюдаемых частиц (что эквивалентно безграничной однородной слабо поглощающей среде) приводит к степенному характеру их энергетического спектра, в целом согласующемуся с наблюдательными данными.

Вернуться к этому вопросу заставили открытые в последние десятилетия отклонения от картины степенного спектра с *единым* показателем («изломы») [2]. Настоящая работа посвящена проблеме высокоэнергетической области спектра, где наблюдается один из таких изломов. Этот факт является предметом оживлённой дискуссии, в ходе которой сопоставляются две гипотезы – о *внутреннем* и *внешнем* (по отношению к Галактике) происхождении наблюдаемой части спектра.

Предлагаемая в данной работе модель основана на следующих положениях.

1. Космические лучи, заполняющие межгалактическое пространство, рождаются и ускоряются в галактиках, покидают их и, попадая в другие галактики, продолжают там ускорение. Естественно предположить, что, придя в нашу галактику после посещения одной или нескольких предыдущих, они попадут в высокоэнергетическую часть спектра. Вопрос только в количественном соотношении между интенсивностями внутренних и внешних частиц.
2. Существенный вклад в процесс внутригалактического ускорения частиц вносят ускорения на ударных волнах в областях остатков сверхновых, в которых энергия частиц может возрастать на порядок при однократном посещении такой области [3]. В таком процессе уже нельзя пренебрегать флуктуациями, а следует использовать интегродифференциальное уравнение [4,5].
3. Важнейшим элементом предлагаемой модели является *дифференциальное (по энергии) альbedo галактик*, характеризующее ускорительную эффективность галактик по отношению к отражаемым частицам. При этом нет уже никаких оснований считать интервал времени между входом и

выходом частицы из галактики экспоненциально распределённым. Показано, что распределение этой случайной величины характеризуется плотностью

$$w(t) = t^{-1} \exp\left(-\frac{t}{2}\right) I_1\left(\frac{t}{2}\right).$$

4. Прямыми расчётами методом Монте-Карло установлено также, что это распределение сохраняется (за исключением области малых времён, не играющей роли в задаче об ускорении) и в случае характерных для турбулентной диффузии распределений пробегов степенного типа, если среднее значение пробега конечно. Более того, такой же вид при данном условии имеет и распределение числа столкновений этой частицы до вылета.
5. Мультипликативный характер элементарных актов ускорения ( $E_{n+1}=q_{n+1}E_n$ , где  $q_1, \dots, q_n$  – независимые случайные величины с одинаковым степенным законом распределения  $P(q>x) \sim (x_0/x)^y$ ), приводит к тому, что условное (при фиксированном числе ускорений) распределение относительной энергии  $\xi=E/E_1$  ускоренных частиц является логнормальным:

$$f_{\xi}(x|n) \sim \frac{1}{\sqrt{2\pi n \sigma x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - an)^2}{2n\sigma^2}\right] \text{ (здесь } a \text{ – среднее значение } \ln q, \sigma^2 \text{ – дисперсия этого логарифма).}$$

Стандартное вычисление безусловной вероятности приводит к искомому результату. Качественно он не противоречит выдвигаемой гипотезе, однако для уверенного заключения необходимо уточнить расчёты в количественном отношении, учтя другие процессы взаимодействия космических лучей с межзвёздной средой галактики, её неоднородность и граничные условия. Кроме того, предположение о равномерном распределении остатков сверхновых в галактиках тоже не кажется достаточно обоснованным (см.[4]).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-01-00585).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ферми Э. О происхождении космического излучения. Научные труды. II. – М.: Издательство «Наука», 1972. – С. 439-453.
2. Zirakashvili V. Cosmic Ray Acceleration beyond the Knee up to the Ankle...// Journal of Physics: Conference Series.—2006.—Vol. 47.-- С. 185-194.
3. Бережко Е.Г., Крымский Г.Ф. Ускорение космических лучей ударными волнами.// Успехи физических наук.-1988.—Т.154. Вып.1. С. 49-88.
4. Учайкин В.В. О дробно-дифференциальных моделях ускорения космических лучей в Галактике.//Письма в ЖЭТФ. – 2010. – Т.92. – вып.4. – С. 226–232.
5. Uchaikin V.V., Sibatov R.T. A fractional model of cosmic ray reacceleration in the Galaxy. //IEEE Intern. Conf. Fractional Diff. and Appl. (ICFDA). – 2014 -- 978-1-4799-2591-9/14.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,  
ПРОТЕКАЮЩИХ В КАСКАДЕ ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ИЗОТОПНЫХ СМЕСЕЙ**

А.А. Ушаков<sup>1</sup>, В.П. Совач<sup>1</sup>, А.А. Орлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Акционерное общество «Производственное объединение «Электрохимический завод»,  
Россия, г. Зеленогорск Красноярского края, ул. Первая промышленная, 1, 663690

E-mail: [ushakovaa2015@sibmail.com](mailto:ushakovaa2015@sibmail.com)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [orlovaa@tpu.ru](mailto:orlovaa@tpu.ru)

Известно, что в ходе протекания нестационарных гидравлических процессов при разделении изотопных смесей нарушаются оптимальные режимы работы ступеней каскада газовых центрифуг, возникают возмущения, приводящие к нарушениям технических условий эксплуатации и недопустимым перегрузкам оборудования. Нестационарные гидравлические процессы влияют на условия работы оборудования, эффективность работы каскада и на качество выпускаемого продукта.

Каскады для разделения многокомпонентных изотопных смесей имеют небольшое газосодержание, следовательно, малую инерционность, что приводит к усилению влияния нестационарных процессов на эффективность работы каскадов. В связи с этим приобрело актуальность решение задачи их полномасштабного изучения.

Данная задача решена нами путем создания и программной реализации соответствующей математической модели, в которой разделительная ступень каскада представлена в виде четырех выделенных объемов (коллектор питания, газовые центрифуги (ГЦ), коллектор отбора и коллектор отвала), а расчёт нестационарной гидравлики сводится к замене дифференциальных уравнений нестационарной гидравлики первого порядка разностными уравнениями по неявной схеме Эйлера [1], решению полученного нелинейного алгебраического уравнения и итерационному нахождению величин давлений во всех коллекторах и потоков на каждом временном слое, удовлетворяющих уравнению баланса вещества в каскаде.

Предложенная математическая модель опробована нами еще на ряде химических элементов (Si, Xe, Ni, W). В результате установлено, что она является универсальной для расчета гидравлических параметров каскадов ГЦ по разделению многокомпонентных изотопных смесей с использованием различных рабочих веществ.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пирумов У.Г. Численные методы. – М.: Дрофа, 2003. – 221 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ И МОДУЛЯ АНАЛИТИКИ QUIK ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ФИНАНСОВЫХ РЕШЕНИЙ

М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mef1@tpu.ru](mailto:mef1@tpu.ru)

Комбинации финансовых инструментов с различным уровнем риска предоставляют инвестору возможность эффективного управления капиталом с потенциальной доходностью выше банковского депозита. Использование в таких комбинациях опционных стратегий – самых сложных финансовых инструментов, дает серьезное преимущество получения неограниченного дохода [1].

Предлагаемая работа отражает результаты исследования конструирования структурированных финансовых решений (структурных продуктов) с использованием различных видов опционных стратегий. Рассмотрены комбинации европейских опционов продажи («put») и покупки («call») на различные базовые активы [2], которые подбирались на основе проведенного фундаментального анализа.

Структурный продукт занимает промежуточное положение между консервативным размещением средств и рискованным инвестированием. Это достигается за счет того, что большая часть инвестированных средств вкладывается в депозиты или облигации и работает на возврат капитала. На остаток приобретаются опционы, которые при удачном стечении обстоятельств могут принести прибыль, намного превышающую ставку банковского депозита. Гибкость опциона заключается в том, что его свойства позволяют смоделировать функцию дохода, т.е. стоимость, которую пользователь продукта получит при его погашении в зависимости от поведения базового актива, лежащего в основе опциона [2]. Доля рискованных ценных бумаг в СП в большинстве случаев составляет от 2% до 20%.

В данной работе также был использован модуль опционной аналитики торговой платформы *Quik*. Программа предназначена для анализа стратегий на срочном рынке и позволяет просчитывать возможные варианты развития событий. Она также дает возможность подбирать готовые шаблоны стратегий и создавать собственные. Модуль разработчика стратегий *Quik* рассчитывает все необходимые показатели по совокупной позиции и выполняет функции стандартного опционного калькулятора. Кроме этого, возможен графический анализ сложной опционной позиции с точки зрения ее прибыльности в зависимости от цены базового актива, количества дней до исполнения или волатильности. Изменяя параметры модели (волатильность, дату расчетов), можно рассматривать различные сценарии развития ситуации. В модуле возможна загрузка выбранной стратегии из шаблона и ее параметризация выбранными инструментами и их текущими рыночными параметрами [3].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фатьянова М.Э, Семенов М.Е. Структурированный инвестиционный продукт как оптимальное соотношение риска и доходности [Электронный ресурс] URL: [http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf\\_2013.pdf](http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf_2013.pdf) (Дата обращения: 01.05.15).
2. Буренин А.Н. Форварды, фьючерсы, опционы, экзотические производные. – М.: НТО, 2008. – 512 с.
3. Программный комплекс Quik [Электронный ресурс] URL: <http://quik.ru> (Дата обращения: 01.05.15).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОНДУЛЯТОРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПАРАМЕТРОВ УСКОРИТЕЛЯ LUCX@КЕК

А.Е. Харисова, Я.Н. Сутыгина, Д.А. Шкитов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: anastasiya.harisova.94@mail.ru

В настоящее время ондуляторы широко используются в лазерах на свободных электронах (ЛСЭ) [1]. Однако в ЛСЭ для генерации излучения применяются длинные (до 200 м) ондуляторы, что не всегда удобно и требует надёжной юстировки магнитной системы и тракта ускорителя. В КЕК (Япония) планируется установка компактного плоского 30 см вигглера [2] с целью исследования генерации электромагнитного излучения в терагерцовом (ТГц) диапазоне на основе заранее сгруппированного электронного пучка. Данная схема генерации ондуляторного излучения (ОИ) является перспективной ввиду своей компактности, т.к. содержит только лазерную систему, электронную пушку и ондулятор (вигглер) [3]. Для того чтобы оптимизировать характеристики излучения необходимо провести детальное моделирование при различных параметрах вигглера и пучка электронов LUCX. Нами был произведён расчёт углового и спектрального распределения ОИ для следующих параметров: длина периода вигглера 6 см, ширина зазора 3 см, амплитуда магнитного поля 0,432 Т, энергия электронов 8,25 МэВ, длина сгустка варьировалась от 30 до 90 мкм. Моделирование проводилось на основе теории изложенной в [4]. На Рис. 1 представлены спектры ОИ для двух поляризаций интегрированные по всем углам, рассчитанные для вышеуказанных параметров в одночастичном приближении для первой гармоники. Из данного графика можно сделать вывод, что 1ая гармоника сосредоточена в ТГц части спектра излучения.

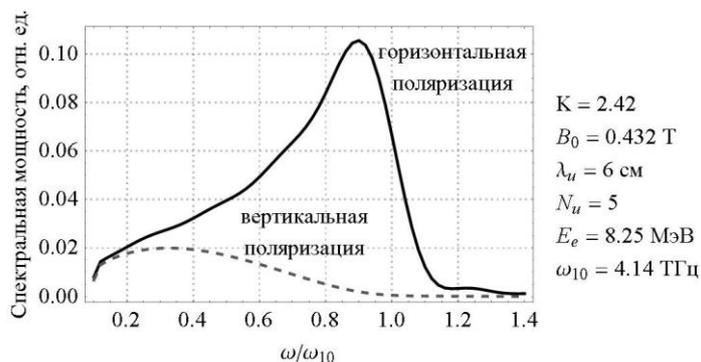


Рисунок 1. Спектры ОИ для  $\sigma$ - и  $\pi$ -поляризаций,  $\omega_{10}$  – фундаментальная частота ОИ на оси

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кулипанов Г.Н. Изобретение В.Л. Гинзбургом ондуляторов и их роль в современных источниках синхротронного излучения и лазерах на свободных электронах // УФН. – 2007. – Т.177. – № 4. – С. 384–393.
- Kashiwagi S., et al. Rigorous evaluation of the edge-focusing wiggler based on the magnetic field measurement // PRST AB. – 2009. – V.12. – P. 120703.
- Huang Y.C. Desktop megawatt superradiant free-electron laser at terahertz frequencies // App. Phys. Lett. – 2010. – V.96. – P. 231503.
- Hofmann A. The Physics of Synchrotron Radiation. – New York: Cambridge University Press, 2004. – 323.

## РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ВЫХОДА РАДИОУГЛЕРОДА ЗА ПРЕДЕЛЫ ПУНКТА ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Д.О. Чубреев<sup>1</sup>, М.В. Антоненко<sup>1</sup>, Г.В. Кузнецов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «Горно-химический комбинат»

Россия, г.Железногорск, ул.Ленина, 53, 662972

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30, 634050

E-mail: [atomlink@mcc.krasnoyarsk.su](mailto:atomlink@mcc.krasnoyarsk.su)

Промышленный уран-графитовый реактор (ПУГР) АД, размещенный на территории ФГУП «Горно-химический комбинат», после останова и приведения его в ядерно-безопасное состояние подлежит выводу из эксплуатации. Реактор выводится из эксплуатации по варианту радиационно-безопасного захоронения на месте. Данная концепция предусматривает захоронение реактора на месте размещения с созданием необходимых дополнительных защитных барьеров (заполнение пустот реакторного пространства и внереакторных помещений сухими и влажными смесями, а также заполнения объемов подреакторного пространства бетоном [1]).

Для оценки условий и характеристик долговременной безопасности выводимого из эксплуатации реактора разработана математическая модель миграции радиоуглерода через инженерные барьеры. Конечный результат долгосрочного прогноза – активность радионуклида на выходе из инженерных барьеров. В связи с наличием большого периода полураспада и высокой активности радионуклида рассмотрен длительный временной диапазон. В модели рассмотрены зоны материалов: инженерные барьеры (сухая глина, увлажненная глина, бетон) и горная порода. Численные исследования диффузионного процесса проводились в рамках решения дифференциального уравнения в программе Matlab.

Построены две серии зависимости удельной концентрации радионуклида на выходе из инженерных барьеров безопасности по координате X (рис.1): А) барьер 1 – глина, барьер 2 – бетон; Б) барьер 1 – бетон, барьер 2 – глина.

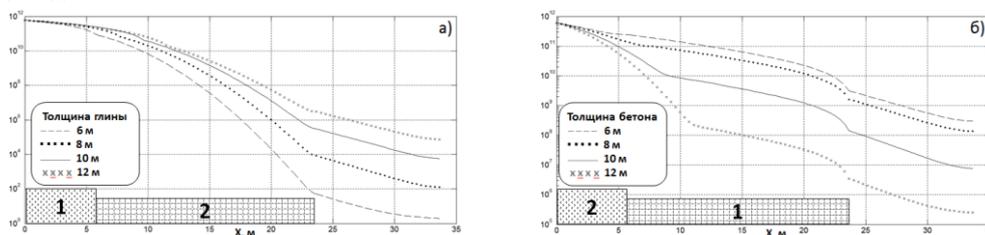


Рисунок 1. Распределение удельной концентрации  $C^{14}$  в инженерных барьерах, Бк/кг (1 – глина, 2 – бетон)

Для последовательности материалов «глина - бетон» проведен анализ влияния зависимости коэффициента диффузии от температуры графитовой кладки на значение концентрации радионуклида. Прогнозируемая удельная активность  $C^{14}$  на границе с водопроводящей зоной равна 1.83 Бк/кг. Для радиоуглерода бетон представляет собой надежный защитный барьер на пути миграции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. П.М. Гаврилов, А.А. Устинов, М.В. Антоненко и др., Обоснование вывода из эксплуатации ПУГР ФГУП «ГХК» по варианту захоронения на месте // «Атом Эко-2011», г.Москва, 2011.
2. СП 2.6.1.758-99 «Нормы радиационной безопасности-99».
3. Руководство по безопасности РБ-011-2000. Оценка безопасности приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов.

## ЗАКОН ОМА И ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ СО СТРУКТУРОЙ ГОМОГЕННЫХ ФРАКТАЛОВ

В.А. Чуриков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: vachurikov@list.ru

Рассмотрено активное сопротивление электрического тока в проводнике с фрактальной структурой. Когда фрактал анизотропный и имеет фрактальную (дробную) размерность вдоль трёх координат,  $0 \leq \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \leq 1$  и  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 = \text{const}$ . Фрактальная размерность вдоль распространения тока  $\alpha_1$ , а размерности перпендикулярные току будут  $\alpha_2, \alpha_3$ , тогда сопротивление  $R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}$  можно выразить

$$R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} = \frac{\tau l_{\alpha_1} \rho}{S_{\alpha_2, \alpha_3}} = \frac{\tau(1 + \varphi(\alpha_1))l\rho}{\alpha_2 \alpha_3 S}.$$

Здесь  $l_{\alpha_1} = (1 + \varphi(\alpha_1))l$  - эффективная длина проводника во фрактале, которая зависит от фрактальной размерности проводника вдоль распространения тока;  $l$  - длина проводника,  $l_{\alpha_1} \geq l$ ;  $\varphi(\alpha_1)$  - некоторая функция, зависящая от размерности фрактала, и его топологических свойств,  $\varphi(\alpha_1) \geq 0$ ;  $S_{\alpha_2, \alpha_3} = \alpha_2 \alpha_3 S$  - эффективная площадь сечения фрактального проводника;  $S$  - общая площадь проводника,  $S_{\alpha_2, \alpha_3} < S$ ;  $\rho$  - удельное электрическое сопротивление вещества фрактала;  $\tau$  - топологический коэффициент, который  $\tau > 0$ , если прохождение тока возможно и  $\tau = 0$ , если невозможно.

Используя сопротивление легко записать закон Ома в дифференциальной форме для анизотропного фрактального проводника:

$$j = \frac{E}{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}} = \frac{\alpha_2 \alpha_3 S}{\tau(1 + \varphi(\alpha_1))l\rho} E.$$

Здесь  $j$  - плотность тока в проводнике;  $E$  - напряжённость электрического поля.

Случай, когда  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$  и  $\tau = 1$ , соответствует традиционному закону Ома  $j = E/R$ .

Комплексное сопротивление (импеданс) для контура с активным фрактальным сопротивлением для синусоидального тока для анизотропного случая:

$$Z_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} = R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} + iX = R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} + i(\omega L - (\omega C)^{-1}).$$

Здесь  $\omega$  - частота;  $X = \omega L - 1/\omega C$  - реактивное сопротивление, где  $L$  - индуктивность и  $C$  - ёмкость, которые не являются фрактальными.

Закон Ома для переменных синусоидальных токов будет:

$$j = E(|Z_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}|)^{-1} = (R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}^2 + i(\omega L - (\omega C)^{-1})^2)^{-1/2} E_0 \sin(\omega t - \varphi).$$

Здесь  $E_0$  - амплитуда изменения электрического поля,  $\varphi$  - сдвиг фазы, который определяет коэффициент мощности,  $\cos(\varphi)$ :

$$\cos(\varphi) = R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} (|Z_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}|)^{-1} = (R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}^2 + i(\omega L - (\omega C)^{-1})^2)^{-1/2} R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}.$$

Используя полученное сопротивление легко записать закон Джоуля - Ленца для постоянного тока в дифференциальной форме для анизотропного фрактального проводника

$$Q = jE = E^2 (R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3})^{-1}.$$

Здесь  $Q$  – теплота выделяемая проводником за единицу времени, когда по нему протекает ток.

Если переменное синусоидальное напряжение приложено к двухполюснику с импедансом  $Z_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} = R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} + iX$ , то проходящий ток будет меняться по тому же закону, но со сдвигом фазы  $\varphi$ :

$$E = E_0 \cos(\omega t); \quad j_0 = j_0 \cos(\omega t - \varphi).$$

Здесь  $j_0$  - амплитуда изменения электрического тока.

Закон Джоуля - Ленца в дифференциальной форме для переменного синусоидального напряжения и анизотропного фрактального проводника будет:

$$Q = \bar{j}\bar{E} \cos(\varphi).$$

Здесь  $\bar{E} = E_0/\sqrt{2}$  и  $\bar{j} = j_0/\sqrt{2}$  - соответственно средние (действующие) значения переменного синусоидального напряжения и переменного синусоидального тока.

В частном случае, когда  $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta = 1$  и  $\tau=1$ , соответствует традиционному закону Джоуля - Ленца для переменного тока  $Q = j_0 E_0 / 2$ .

## РОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ ПАР ИЗ ВАКУУМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

В.М. Шахматов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [shakh@tpu.ru](mailto:shakh@tpu.ru)

Рассмотрено рождение  $e^+e^-$  пар полем, представляющим собой суперпозицию бегущих в одном направлении электрического и магнитного полей и поля плоской волны, распространяющейся в том же направлении. Потенциалы поля выбраны так, что удовлетворяют уравнениям Максвелла с нулевыми зарядами и токами. Изучение рождения пар «пустым» полем представляет интерес с космологической точки зрения. Рождающее пары поле зависит только от  $u^0 = ct - z$  и имеет вид в проекциях на оси цилиндрической системы координат:

$$E_r = H_\varphi = 2\varepsilon r, \quad E_z = 4\gamma, \quad H_z = 4(\alpha^2 - \gamma^2)^{0.5}, \quad E_\varphi = -H_r = 2\varepsilon r \gamma (\alpha^2 - \gamma^2)^{-0.5}, \quad \gamma = \beta + \varepsilon u^0 \quad (1)$$

Здесь  $\varepsilon, \alpha, \beta$  – произвольные постоянные.

Решение уравнения Дирака в поле (1) получено в [1]. Среднее число родившихся пар  $\omega_{\{m\}}^{(\pm)}$  в заданном квантовом состоянии  $\{m\}$  и полное число родившихся пар  $N^{(\pm)}$  определяется формулами [2]

$$\omega_{\{m\}}^{(\pm)} = \sum_{\{n\}} |G \langle m^\pm | n^\mp \rangle|^2, \quad N^{(\pm)} = \sum_{\{m\}} \omega_{\{m\}}^{(\pm)}, \quad \text{где } G \langle m^\pm | n^\mp \rangle \text{ функция Грина в электромагнитном поле.}$$

$$\omega_{\{m\}}^{(\pm)} = \exp(-\pi\lambda - \pi d(1-\zeta)) B_+^{\zeta+1} B_-^\nu F(-\nu, -s, 1; \eta^2), \quad \{m\} = (\nu, s, k_3, \zeta), \quad \eta = \theta_{-} sh \pi d, \quad (2)$$

$$F - \text{функция Гаусса, } B_{\pm} = (1 \pm th \pi d)(1 + \theta_{\pm} tg \pi d)^{-1}, \quad s = \nu - l_\varphi, \quad \nu = n + (l_\varphi + |l_\varphi|)(2g_2 | \varepsilon k_3 |^{0.5})^{-1},$$

$$s, \nu = 0, 1, 2, \dots \quad \lambda = 4^{-1} m^2 (\alpha^2 - |\varepsilon k_3|)^{-0.5} \quad \theta_{\pm} = (\varepsilon k_3 \pm g_2^2) (2g_2 |\varepsilon k_3|^{0.5})^{-1} \quad d = |\varepsilon k_3|^{0.5} (\alpha^2 - |\varepsilon k_3|)^{-0.5} \quad k_3 \quad -$$

интеграл движения.

$$N^{(\pm)} = (4\pi)^{-1} (H_2^2 - H_1^2)^{-1} VcTl^2 \left( \sqrt{I^2 - H_1^2} + \sqrt{I^2 - H_2^2} \right) J \quad (3)$$

где  $\tilde{\lambda} = m^2 I^{-2} (1-x)^{-0.5}$ ,  $\tilde{d} = x^{0.5} (1-x)^{-0.5}$ ,  $I^2 = E^2 + H^2$ ,  $H = 4\pi(\alpha^2 - \beta^2)$ ,  $E = 4\beta^2$ ,  $a = I^{-1} H_1$ ,

$b = I^{-1} H_2$ ,  $H_1, H_2$  – напряженности магнитного поля в точках включения и выключения поля, рождающего пары.  $VcT$  – четырёхобъём (инвариант). Переход в формулах (2), (3) от нестационарного поля (1) к постоянным однородным параллельным электрическому и магнитному полям даёт известные выражения [2].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров В.Г., Бызов Н.Н., Гитман Д.М., Клименко Ю.И., Мешков А.Г., Шаповалов В.Н., Шахматов В.М. Новые точные решения уравнения Дирака. V. // Изв. ВУЗов, Физика – 1975. – №9. – С.106–111.
2. Багров В.Г., Гитман Д.М., Шварцман Ш.М. Рождение пар электромагнитным полем в формализме нулевой плоскости // ЯФ– 1976. – Т.2. – №24. – С.394–397.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ СКАНИРУЮЩИМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ

И.Н. Шейно, А.В. Гордеев

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Россия, г. Москва, ул. Живописная, 46, 123182

E-mail: [igor.sheino@rambler.ru](mailto:igor.sheino@rambler.ru)

Целью работы является разработка математической модели установки радиационной стерилизации сканирующими электронными пучками линейного ускорителя электронов. Модель позволяет расчетным путем выбирать оптимальное сочетание управляющих режимов установки для достижения требуемого уровня дозовых нагрузок на объект стерилизации.

Основными параметрами модели являются:

- геометрические размеры установки;
- абсолютное значение тока электронов, выходящего из ускорителя, а также энергетическое и радиальное распределение электронов в пучке;
- частота развертки, величина и форма импульса тока, проходящего через обмотки развертывающего магнита;
- форма и напряженность магнитного поля системы фокусирующих магнитных линз;
- скорость движения конвейера, транспортирующего облучаемые объекты;
- габаритные размеры облучаемого образца и массовые доли химических веществ, входящих в его состав.

Модель реализована методом Монте-Карло в виде компьютерной программы. Большое внимание при программной реализации алгоритма было уделено визуализации результатов расчета, позволяющих в режиме *on-line* отображать на экране дисплея физические процессы, происходящие в установке (см. рис. 1).

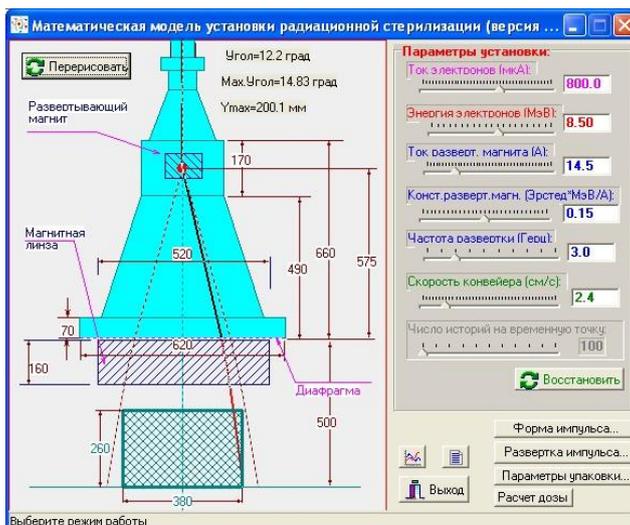


Рисунок 1. Управляющее окно программы, реализующей модель

Разработанная математическая модель учитывает следующие процессы:

1. отклонение пучка электронов в системе развертывающего магнита;
2. рассеяние пучка электронов на диафрагме вакуумной камеры и в воздухе;
3. фокусировку пучка системой магнитных линз;
4. формирование дозового поля в упаковке стерилизуемой продукции (облучаемого объекта).

Сравнение расчетных данных с результатами специальных экспериментов показали их удовлетворительное согласие, что подтверждает адекватность разработанной модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л.А. Арцимович, С.Ю. Лукьянов. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. – М.: Наука, 1972. –224 с.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ

И.И. Шолохова, Е.Ж. Сарсикеев, Е.А. Молдованова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

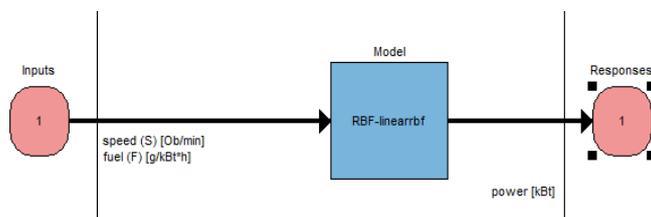
Россия, г. Томск, пр. Ленина,30, 634050

E-mail: [sholii@tpu.ru](mailto:sholii@tpu.ru)

В настоящее время, при проведении научных исследований, направленных на повышение энергетической и экономической эффективности работы дизельных электростанций (ДЭС) широко применяются методы математического моделирования и компьютерной оптимизации. Актуальность проведения таких работ все более возрастает с ужесточением нормативов, ограничивающих выбросы вредных веществ, требований экономичности и высокой удельной мощности энергоустановок.

Основу рассматриваемой системы составляет дизельный двигатель (ДД) Kipor KM2V80, имеющий ряд преимуществ по сравнению с другими типами двигателей внутреннего сгорания (ДВС): меньшая стоимость и расход топлива, большой моторесурс, высокая надежность, менее жесткие требования к качеству топлива, относительно более высокая пожаробезопасность [1].

Моделирование процессов в ДВС осуществлено с применением построения функциональной модели средствами Model-BasedCalibrationToolbox (рис. 1) с последующим экспортом в среду Simulink (MATLAB).



*Рисунок 1. Процесс создания MBC модели*

При моделировании использовались различные способы интерполяции и аппроксимации экспериментальных данных. Окончательная модель выбрана на основании оценки погрешности моделирования с выбором различных критериев оптимизации.

Разработанная компьютерная модель дизельного двигателя в среде Simulink позволяет исследовать его энергетические характеристики на основании экспериментальных данных. Отличительной особенностью данного способа моделирования является возможность исследования широкого спектра рабочих режимов с минимальной погрешностью, не превышающей одного процента относительно аппроксимируемых экспериментальных данных.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Шолохова И.И., Сарсикеев Е.Ж. Моделирование рабочих характеристик дизельного двигателя с переменной частотой вращения // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы V Международной научно-практической конференции. – Саратов, 2014. – С. 347-351.

#### **О ПРИРОДЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В НАНОСТРУКТУРАХ**

К.Н. Югай

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,

Россия, г. Омск, пр. Мира, 55а, 644077

E-mail: [yugaykn@gmail.com](mailto:yugaykn@gmail.com)

Сверхпроводимость в наноструктурах – нанокластерах [1,2], квантовых ямах (наноплёнках) [3,4], интерфейсах между парами различных материалов [5-7], квантовых проволоках [8], – вызывает вопрос: существует ли ограничение снизу на геометрический размер сверхпроводника? Согласно микроскопической теории сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера (БКШ) причиной появления сверхпроводимости является образование куперовских пар электронов, размер которых соответствует длине когерентности. Однако сам факт существования сверхпроводимости в системах с размерами, меньшими длины когерентности, говорит о том, что минимальный размер сверхпроводника не связан с длиной когерентности. Это утверждение можно оправдать, если природу сверхпроводимости рассмотреть немного под другим углом зрения.

Предположим, что сверхпроводимость – это просто состояние бездиссипативного движения, в котором при отсутствии внешнего воздействия система может находиться бесконечно долго. Такое движение не может быть классическим. Даже в очень разреженной среде, например, в межзвёздной плазме, время между двумя последовательными столкновениями конечно. Или другой пример – пучок электронов в камере бетатрона; чтобы поддерживать движение в камере, нужно постоянно подпитывать энергией эти электроны. Движение электрона в бетатроне – это классическое движение, излучаемая им энергия пропорциональна его ускорению. Бездиссипативное движение возникает при квантовом характере движения с определённой энергией, т.е. в

связанном стационарном состоянии. Но это просто электрон в атоме. Атом – это и есть сверхпроводник с минимальным размером.

С точки зрения определения сверхпроводимости, как состояния бездиссипативного движения, в низкоразмерной многочастичной системе делокализованные электроны могут находиться в связанном, квантовом, состоянии из-за размерного квантования. Это и предопределяет эффективный потенциал, в котором возникают связанные состояния электронов. Этот потенциал связан с массовым оператором в уравнении Дайсона, т.е. он обусловлен взаимодействием электрона со всеми остальными частицами системы и внешними полями. В эффективном потенциале основное состояние системы отделено от первого возбуждённого состояния щелью, которое и является сверхпроводящей щелью. Кроме того, эффективный потенциал продуцирует спектр с небольшим числом уровней, возможно с одним-двумя уровнями, т.е. квантовая яма является неглубокой. Эти электроны, находящиеся в связанном состоянии в эффективном потенциале, являются  $\pi$ -электронами. Здесь мы имеем дело с распределённой сверхпроводимостью [9].

В качестве примера распределённой сверхпроводимости рассмотрим 2D систему. Между  $\pi$ -электронами в такой системе возникает эффективное кулоновское притяжение, обусловленное наличием ограничивающих поверхностей, которое отсутствует в bulk системе. Можно показать, что гамильтониан взаимодействия в этом случае имеет вид:

$$H_{int} = -\frac{U_0 + \lambda}{2} (1 + Z) \sum_{\alpha, \beta} \int d\mathbf{r}_1 \Psi_{\alpha}^{+}(\mathbf{r}_1) \Psi_{\beta}^{+}(\mathbf{r}_1) \Psi_{\beta}(\mathbf{r}_1) \Psi_{\alpha}(\mathbf{r}_1), \quad (1)$$

где  $\Psi_{\alpha}^{+}(\mathbf{r}_1)$ ,  $\Psi_{\alpha}(\mathbf{r}_1)$  – полевые операторы рождения и уничтожения электрона со спином  $\alpha$  в точке  $\mathbf{r}_1$  соответственно.  $U_0$  и  $\lambda$  – постоянные кулоновского и электрон-фононного взаимодействий соответственно. Параметр  $Z$  удовлетворяет соотношению:  $0 < Z < 1$ . Причём  $U_0 \sim a^{-1}$ ,  $a$  – характерный размер 2D системы, т.е. толщина плёнки. В общем случае  $U_0 > \lambda$ . Подчеркнём, что гамильтониан (1) имеет место при учёте поверхности 2D системы. Расчёты с гамильтонианом (1) дают для температуры сверхпроводящего перехода:

$$T_c = 1.34 \cdot U_0 e^{-\frac{1}{D_0 \Lambda}}, \quad (2)$$

где  $D_0$  – плотность состояний на уровне Ферми,  $\Lambda = U_0(1 + Z)$ . Оценки дают значение критической температуры вблизи комнатной. Из выражения (2) следует, что  $T_c$  зависит от характерного размера системы, а именно, при его уменьшении критическая температура возрастает.

Таким образом, идея о том, что сверхпроводимость обеспечивается электронами, находящимися в связанном, квантовом, состоянии в эффективном потенциале, обусловленном всеми частицами системы, объясняет не только природу сверхпроводимости в низкоразмерных структурах, но и даёт некоторые ориентиры для создания "комнатных" сверхпроводников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kresin V.Z., Ovchinnikov Yu.N. Shell structure and strengthening of superconducting pair correlation in nanoclusters // Phys. Rev. B. – 2006. – V. 74. – p. 024514-1 – 024514-11.
2. Ralph D.C., Black C.T., Tinkham M. Spectroscopic Measurements of Discrete Electronic States in Single Metal Particles // Phys. Rev. Lett. – 1995. – V. 74. – p. 3241–3244.
3. Abrahams E., Kravchenko S.V., Sarachik M.P. Metallic behavior and related phenomena in two dimensions // Rev. Mod. Phys. – 2001. – V. 73. – p. 251–266.
4. Baturina T.I., Mironov A.Yu., Vinokur V.M., Baklanov M.R., Strunk C. Localized Superconductivity in the Quantum-Critical Region of the Disorder-Driven Superconductor-Insulator Transition in TiN Thin Films // Phys. Rev. Lett. – 2007. – V. 99. – p. 257003.
5. Herranz G., Basletic M., Bibes M., Carretero C., Tafrá E., Jacquet E., Bouzehouane K., Deranlot C., Hamzic A., Broto J.-M., Barthelemy A., Fert A. High Mobility in LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> Heterostructures: Origin, Dimensionality, and Perspectives // Phys. Rev. Lett. – 2007. – V. 98. – p. 216803.

6. Reyren N., Thiel S., Caviglia A.D., Kourkoutis L.F., Hammerl G., Richter C., Schneider C.W., Kopp T., Rüetschi A.-S., Jaccard D., Gabay M., Müller D.A., Triscone J.-M., Mannhart J. Superconducting Interfaces Between Insulating Oxides // *Science*. – 2007. – V. 317. – p. 1196-1199.
7. Gozar A., Logvenov G., Kourkoutis L.F., Bollinger A.T., Giannuzzi L.A., Müller D.A., Božović I. High-temperature interface superconductivity between metallic and insulating copper oxides // *Nature*. – 2008. – V. 455. – p. 782-785.
8. Николаев С.В., Югай К.Н. Динамические свойства сверхпроводящей нанопроволоки // *ЖЭТФ*. – 2006. – Т. 129. – с. 371–377.
9. Yugay K.N. On the possible Nature of “Room-Temperature” Superconductivity // *Proceedings of Russia – Korea Conference on Sciences and Technology, Yekaterinburg, July 4–5, 2014*, p. 180-183.

---

# Секция 4

---

Физико-химические и  
изотопные технологии в  
науке, промышленности  
и медицине

## MODELING OF EXCHANGE SEPARATION PROCESSES ON SOLID-PHASE COMPOUNDS

L.I. Dorofeyeva, E.A. Boretsky, E.S. Titov  
National Research Tomsk Polytechnic University,  
Russia, Tomsk, Lenina Avenue, 30, 634050  
E-mail: [eab18@tpu.ru](mailto:eab18@tpu.ru)

The isotopes separation problem, which is applied in many areas of a science and technics, has great value for the nuclear industry, in connection with growing needs in highly enriched isotopes. The works carried out in the given direction, are based on studying new effective separation technique and using ion-exchange materials which meet the requirements on ecological safety of production.

Modeling of isotopes separation process, in the given work, was carried out to study the influence of selective properties of cationites, kinetic characteristics, and a process realization method on separation efficiency. Practical value and application spheres of inorganic ion-exchangers are caused, first of all, by their high selectivity, chemical, thermal and radiating stability, i.e. the properties profitably distinguishing them from organic ion-exchange resins [1]. Zeolites are the most widespread group among natural origin sorbents. There are about 40 kinds of minerals. The opportunity of selection and synthesis inorganic ion-exchangers with the set of properties are practically inexhaustible. Inorganic compounds of many classes as sorbents can be used and capable to absorb ions from solutions due to various types of sorptive interactions, and also modern methods of synthesis and modifying of inorganic sorbents allow to vary their properties over a wide range.

When using selective ion-exchangers, the factor of isotope separation considerably increases. As a rule, selectivity is defined by type ionogenic groups, cross-linkage number and pores size of ion-exchangers. At exact conformity of the pores size to radius aquated ion sieving effect is shown. Isotopes separation of alkaline elements was carried out by the frontal advance method and ion-exchange elution chromatography. On inorganic sorbents [2] the increase in isotope enrichment factor up to 0,0127 is received.

Influence of kinetic characteristics on isotopes separation process in counterflow system with counter movement of phases [3] is investigated. Admissible change ranges of moving phases speeds on a ion-exchange column are determined. Optimum flow ion-exchangers velocity average 0,04 sm/s, ion-exchangers phases - 0,07 sm/s. The concentration rate value under the given realization conditions of process and depending on type of a selective material changes in a range 1,021 ... 1,092.

The results received in work can be used at the enterprises of isotopes separation and fine purification substances.

## REFERENCES

1. Jaroslavzev A.B. Ion exchange on inorganic sorbents // Progress of Chemistry. – 1997– т. 66– №7– P. 641–660.
2. Research of selective properties inorganic exchangers / I.A. Tikhomirov, A.P. Vergun, L.I. Dorofeyeva. VINITI, 28.02.01, № 2330 – B99.
3. Vergun A.P., Dorofeyeva L.I., Vergasov K. A. Electroregeneration ion-exchanger at isotope separation in exchange counterflow columns. // Materials All-Russia scientific and technical conf., in 5 - Krasnoyarsk, 1999. - P. 190-191.

## RADIATION-CHEMICAL AND THERMAL GRAFTING OF THIN FILMS FOR FUNCTIONAL PVDF MEMBRANE

A.P. Il'inskiy

National research Tomsk Polytechnic University,  
Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050

E-mail: [api2@tpu.ru](mailto:api2@tpu.ru)

**Introduction:** proton exchange membranes for solid-state fuel cells must meet certain requirements: first high proton conductivity, chemical stability, the ability to work at elevated temperatures.

Currently used perfluorosulfonate membrane "Nafion" (DuPont, USA) meets these requirements, however, are limited in temperature (temperature range is limited to 90 °C), in addition to their commercial price is quite high [2]. The work is devoted to the study of processes of radiation-chemical and thermal modification of PVDF to form in it proton-conducting properties there.

**Materials:** PVDF, PTFE 2M 20 microns, styrene, toluene.

**Experiment:** Studies were conducted with samples of PVDF irradiated by helium ions with an energy of 28 MeV and PVDF samples not irradiated with ions. All irradiation was performed at an extracted into the air ion beam accelerator R-7M PTI TPU. The original polymer film of PVDF with a thickness of 20 microns were cut with a diameter of 60 mm and was placed in a special holder from which the air is then pumped out of the container was assailed grafting solution of styrene with toluene in the ratio 1:1. Solution previously was bubbled through nitrogen. Before filling the containers with a solution of conducted research on the impact of throughput rate of nitrogen through the solution and determined the minimum amount of residual oxygen prior bubbled through nitrogen, to exclude the undesirable presence of oxygen. Additionally undertook such an analysis with argon. These gases are actively displace oxygen from the solution. Figure 1 shows the dependence of oxygen content from time bubbling.

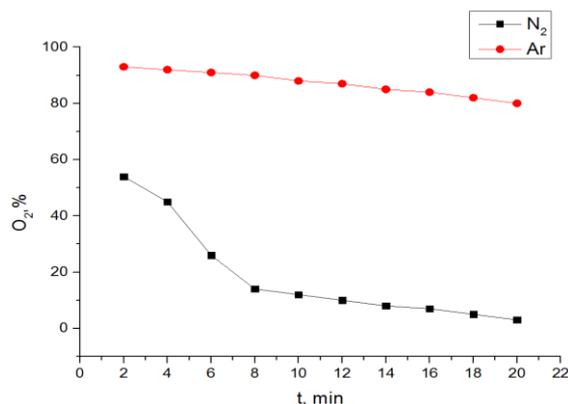


Figure 1. The influence of time bubbling of argon and nitrogen on the oxygen concentration in the grafting solution

Bubbling gases was conducted for 20 minutes. Substitution of oxygen with nitrogen in the solution is faster than with argon. Because the density of argon is less than that of nitrogen, respectively its content in the air is less and the removal of oxygen is necessary to spend a large amount. As a result, nitrogen in contact with the air absorbs the oxygen from it, thus melts, forming a solution of oxygen in nitrogen.

The containers are then irradiated with sample ions was placed in an oven and cured at a temperature of 600C for 8 hours. Another part of the non-irradiated sample, placed in the same container with vaccination solution was incubated at 900C for 20 hours. During irradiation in the polymeric matrix and form free radicals, followed by thermal effects in the presence of styrene solution occurs prishivka to the polymer skeleton of the matrix side suspensions,

which have attached sulfonation sulpho  $-SO_3H$ . After inoculation depressurized containers, polymer samples were washed thoroughly to remove surface residues of styrene and gravimetric measurements [1].

**Results and discussion:** overall, the development of ideas about selective and "long-range" effects in the early stages radiation-chemical transformations of macromolecules is not only of fundamental scientific interest, but also is the basis for the formulation of new principles of radiation stabilisation and radiation modification of polymer systems. We can talk about the approaches that use relatively low doses and low concentrations of additives or chemically modified units entered in a certain position. Table 1 presents the results of gravimetric studies.

Table 1. The results of the comparison of radiation-chemical and thermal polymerization gravimetric method

Radiation-chemical polymerization				Thermal polymerization			
№	The mass Exodus. PVDF, g	Weight after irradiation, g	The grafting yield,%	№	The mass Exodus. PVDF,g	Mass vaccination PVDF, g	The grafting yield,%
1	0,204	0,252	23,5	1	0,215	0,218	1,4
2	0,249	0,277	11	2	0,219	0,220	0,5

**Conclusion:** studies have shown that the degree of grafting of styrene monomer to a PVDF thin films is significantly higher than in the case of thermal grafting without irradiation. During irradiation formed a sufficient number of free radicals which occurs side prishivkoy styrene. In the case of thermal graft, you may need significantly more time for the formation of free radicals. Further studies will be devoted to the sulfonation of samples of PVDF grafted with styrene to give them a proton-conducting properties and the synthesis of proton-conducting functional membrane.

## REFERENCES

1. Abdrashitov E. F., Bokun H. V., Kritsky D. A., Sanginov E. A., Ponomarev A. N., Dobrovolsky Yu. a. Synthesis and transport properties of proton conducting membranes based on the polyvinylidene fluoride films entered and sulfonated polystyrene //Russian journal of electrochemistry, 2011, Vol 47, no 4.-P. 411-419
2. Golovkov, V. M., Mrachkovsky Y., Sochorova V. V. Study of the kinetics of radiation grafting of styrene to the PTFE-2M when it is irradiated with helium ions, " Izv.Universities. "Physics".-2013.-11/

## EFFECT MACHINING OF BATCH ON LINEAR PARTICLE SIZES

D.D. Kasatkin

National Research Tomsk Polytechnic University

Lenina Avenue, 30, 634050, Tomsk, Russia

E-mail: [ddk5@tpu.ru](mailto:ddk5@tpu.ru)

Powder metallurgy occupies a special place among various metal processing techniques in modern industry, as well as it contributes to the solution of many important problems in the manufacture of products and materials. One of the main problems in this industry is the production of metal powders [1].

In the report the effect of mechanical activation on the starting components will is reviewed and dependence of the particle size parameters of mechanical activation expected to reveal.

Self-propagating high-temperature synthesis (SHS) is a part of powder metallurgy allowing to synthesize different substances with the specified parameters. SHS is motion process of the a chemical reaction wave upon the mixture of starting components to form a solid final product. This method has several advantages, but one of the main

advantages of the SH-synthesis is the ability to manage the process of synthesis at different stages [2]. It is also worth noting that the high resource efficiency of this method is compared to traditional methods of powder metallurgy.

Mechanical activation of the starting components is a method of controlling the synthesis reaction in the preparatory phase, is widely used in SHS. This method is a transfer of mechanical energy to sample with the aim of deformation and fracture of a solid body by the accumulation of point defects and dislocations, allowing not only to receive objects with linear dimensions in the range from tens of micrometers to a few nanometers, but also speed up chemical reactions in the synthesis of solid-phase compounds [3].

In this study, the sample used powders  $La_2O_3$ . Mechanical activation was carried out in a planetary ball mill AGO-2C, where the metal balls with a diameter of 6 mm are used as grinding bodies. The influence of the centripetal acceleration of the grinding bodies under the machining of lanthanum oxide was investigated, and also the effect of machining time was studied.

As a result of the research the dependence of the particle size parameters of mechanical activation (time, centripetal acceleration) was revealed, which can be used to establish the optimum mode of mechanical activation in a planetary ball mill.

#### REFERENCES

1. Chang I., Zhao Y. Advances in powder metallurgy: Properties, processing and applications, Woodhead Publishing Limited, 2013. XXI, 604 p.
2. A. G. Merzhanov. Combustion and synthesis of materials. Chernogolovka: ISMAN, 1998, 512 p.
3. V. I. Itin, Y. S. Nayborodenko. High-temperature synthesis of intermetallic compounds. Tomsk: TSU, 1989.

#### MATERIALS USED IN IMPLANTOLOGY

S.A.Lapin, A.A. Christenko

National Research Politechnic University,  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: [xristenko.tosha@yandex.ru](mailto:xristenko.tosha@yandex.ru)

Metals have long been used in medicine as a material for implantation. The first metal implant was invented in the 18th century; during the second half of the 19th century silver wire was used increasingly for fixing. After the creation of stainless V2A-steels (Cr-Ni-steels; Krupp), new opportunities for the use of steel alloys in surgery appeared. In 1936 Co-Cr-alloys (“Vitallium”) for osteosynthesis and dental applications were introduced. Titanium and its alloys have been applied since 1950-s. All materials are corrodible. It means that all of them may be oxidized in some cases. As a result of corrosion loss of material takes place. Therefore, experts use metals forming a passive oxide layer which is capable (ideally) of repairing itself if damaged.

Ceramics - products from inorganic, nonmetallic materials (clay, for example) and its mixtures with mineral additives, is manufactured at high temperature and cooled then. The use of ceramic prostheses and implants in medicine is one of the new areas that have received significant development in the last decade due to advances in the field of structural ceramics, production of high-purity powders, the processes of their formation and processing of ceramic products.

Aluminum oxide ( $\alpha-Al_2O_3$ ; corundum) – biologically indestructible ceramic, mainly used for implants, withstand mechanical load.

Dental ceramics are widely, used in dental technology for facing metal dentures (dental bridges and crowns) and for artificial teeth modeling. The first porcelain dentures were made in XVII century; first porcelain teeth - in the

early XIX century. After the discovery of rubber vulcanization, soft material which could capture ceramic teeth on the plate was invented. First individual dental porcelain crowns were made at the end of XIX century. At the end of the World War II metal bridges were widely used.

Calcium phosphates are used for bone replacement. Titanium implants are used for tooth replacement and hip joint implants coated with calcium to increase the mechanical stability of the implant due to bone ingrowth.

Polymers have been used clinically since 1960. From the chemical point of view polymers are long chain molecules consisting of repetitive small particles (monomers). The number of monomer units in the polymer is denoted as the degree of polymerization. Short chains are called oligomers. If monomer units are equal, the polymer is referred to as a homopolymer. If they are different, it is called a copolymer. The polymers have many useful properties and characteristics: elasticity, ductility, hardness, creep, weariness, wear.

#### REFERENCES

1. Matthias Epple. Biomaterials, and biomineralization. - М.: Veter, 2007. - 137 p.
2. Khlusov AM Pichugin VF, Riabtseva MA Fundamentals of Biomechanics biocompatible materials and biological tissues - М.: Veter, 2007. – 152 p.

#### POLYMERIC MATERIALS MODIFICATION

N.A.Ledengskiy, D.Kasatkin

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin avenue, 30, 634050

E-mail: [ledenga95@mail.ru](mailto:ledenga95@mail.ru)

Nowadays medicine is progressing rapidly, and one of many directions of modern science is development, research and improvement of the biomedical devices, intended for a contact with the living organism. For these purposes special polymers are widely used in reconstructive and regenerative medicine. One of the most widely used biopolymers is poly- L- succinic acid (PLLA, PLA). However, this biopolymer has disadvantages: hydrophathy, slow degradation and others. For the solution of these problems, there are methods of volume and superficial retrofitting of polymers, such as copolymerizing, plasma treatment, and radiation of different types: gamma-radiation, radiation of electrons and ions beam etc. These methods play an important role in the obtaining of given properties of coating in medicine. One of the methods of volume retrofitting is radiation treatment based on the influence of impulsive electronic beam. This method allows getting the required properties of polymeric materials, affecting molecular structure of substance, causing excitation and molecules ionizing.

The objective of this work is to study radiation absorbed dose measured with a sample of polymeric material as a result of the influence of impulsive electronic beam and the exposure of optimal method of measuring. The sample irradiation was carried out at the DEG-500 accelerator (TPU, Tomsk). Two methods of evaluation of the radiation absorbed dose were used: using faraday cup and <<POR>> dosimetric films.

Measuring of radiation absorbed dose with the faraday cup is based on voltage scanning at the oscillograph. A charge passed through the cylinder is calculated from this integral  $q = \int Idt$ , where  $I = \frac{U}{R} = \frac{Sk}{R}$ ; S – a square under the curve showed by oscillograph. Having graphed  $S(t)$  according to function values in every 2 ns and having integrated it with the «Origin 8.1» program, a charge value is calculated. The general formula for calculation is  $D = \frac{E}{m} = \frac{NE_e\bar{e}}{m} = \frac{SkE_e}{Rm}$ , where  $R = 0,05 \text{ Ohm}$  and  $k = 9,3$  – the constructive multiplier of amplification and voltage value showed by the

oscillograph. The <<POR>> film used in the second method is a radiation-sensitive film. Allocating two films in front of the sample and behind it, the difference of radiation absorbed dose between these films will be equal to the dose absorbed by the sample  $\Delta D = \Delta D'' - \Delta D'$ . A spectrophotometer is applied for the calculation of radiation absorbed dose.

The method using faraday cup was proved to be inexpedient because of major inaccuracy (the value of the dose is 913.2 KGy). Application of the second method using <<POR>> dosimetric films provided more valid value of the dose absorbed by the sample (26.31 KGy). Further research should be carried out for the optimization of technological regimes of polymers modification on basis of polymilk acid irradiation with impulsive electronic beams. Structure and properties of polymeric materials also have to be studied.

#### REFERENCES

1. Poncin-Epaillard F., Shavdina O., Debarnot D. Elaboration and surface modification of structured poly(L-lactic acid) thin film on various substrates // Mater. Sci. Eng.: C. – 2013. – V. 33. – pp. 2526-2533.
2. Cairns M.-L. et al. Through-thickness control of polymer bioresorption via electron beam irradiation // Acta Biomaterialia. – 2011. – V. 7. – pp. 548-557.
3. Nair L.S., Laurencin C.T. Biodegradable polymers as biomaterials // Polym. Sci. – 2007. – V. 32. – pp.762-779.

#### THIN HYDROXYAPATITE COATING ON AZ91D MAGNESIUM ALLOY FABRICATED VIA RF-MAGNETRON SPUTTERING

E.S. Melnikov, T. M. Mukhametkaliyev, M. A. Surmeneva.

National Research Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, 30 Lenina ave., 634050

E-mail: [rsurmenev@gmail.com](mailto:rsurmenev@gmail.com)

The development of biodegradable materials for bone injuries repair is an attractive scientific topic [1]. The wettability of the bare alloy and HA coating deposited on Mg alloy was monitored. It was revealed that after only 15 min of water droplet spreading over the surface a significant decrease in the water contact angle (from 100° to 66°) was observed. A significantly higher water spreading rate was observed in the case of bare alloy compared with that of the HA coated samples. The observed changes in the surface wettability over time indicated a strong time-dependent tendency to turn initially hydrophobic behavior to hydrophilic. The aim of this study was to investigate the structure, chemical composition and wettability of the CaP coating deposited via RF magnetron sputtering on AZ91D magnesium alloy.

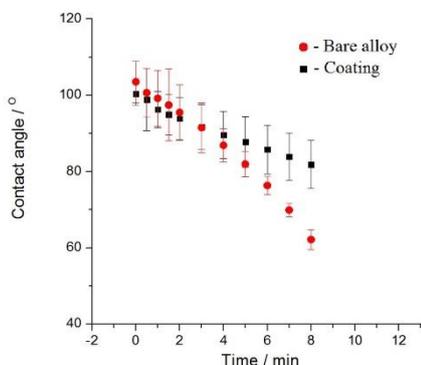


Figure 1. Water spreading behavior of a single droplet on the surface of the HA coating and bare alloy

The wettability of the bare alloy and HA coating deposited on Mg alloy was monitored. It was revealed that after only 15 min of water droplet spreading over the surface a significant decrease in the water contact angle (from 100° to 66°) was observed. A significantly higher water spreading rate was observed in the case of bare alloy compared with that of the HA coated samples. The observed changes in the surface wettability over time indicated a strong time-dependent tendency to turn initially hydrophobic behavior to hydrophilic.

In this study, fabrication process and the properties of the HA coating deposited onto AZ91D magnesium alloys via RF-magnetron sputtering are described. Surface morphology and structure results suggested that the coating is crystalline HA with the uniform, homogeneous, and dense structure. Investigations did not reveal improvement of the surface wettability of the HA coated samples compared to the bare alloy, however water contact angle dynamics in the case of the HA coated substrates revealed a lower rate of a droplet spreading over the surface. The initially hydrophobic surface of the HA coating tend to be more hydrophilic with time.

#### REFERENCES

1. Zheng Y.F., Gu X.N., and Witte F. Biodegradable metals

#### ELECTROIONITE PROCESSES IN TWO-PHASE EXCHANGE SYSTEMS

L.I. Dorofeyeva, D.V. Orekhov

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina Avenue, 30, 634050

E-mail: sisrabol@ya.ru

Separation by ion-exchange of isotopes and ions mixture used in processes of purification and selective extraction of valuable components from solution for the enterprises of the nuclear industry is actual. Application of the given processes for exchange systems with electroregeneration of ion-exchange material used on sorption stages we considered.

Separation process efficiency depends on type ionite, its charge and the sizes, structural characteristics, the sizes in hydrated and dehydrated conditions [1], environment temperature and the nature anions, connected with cation in a solution. We had considered two-phase exchange systems with use organic and inorganic [2] cations.

The evident influence on conditions of ion-exchange sorption and ions with close properties separation is provided by means of the organic solvents additive to aqueous solutions of salts. The increase in separation factors of alkaline metals ions in aqueous-propanol solutions is connected with their dependence on solvation energy and a dielectric constant for equilibrium ions and increase of solvation energy at transition from aqueous to aqueous-alcoholic [3] solutions.

Collation of the received values shows, that on cation-exchange resin KU-2 the separation factors are higher than on carboxyl resin CB-4P×2. It explains that cation-exchange resin KU-2 from aqueous-propanol solutions mainly absorbs water as more polar component, and, hence, viscosity of environment inside of grain ionite is less while in cationite CB-4P×2 at swelling the quantity the propanol not much more decreases in comparison with an external solution and viscosity of environment inside of grain ionite above that directly influences conditions exchange sorption. Besides fixed carboxyl groups are less dissociated, than strong-acid a sulfate group, that also influences efficiency of ionic exchange.

Velocity of moving of concentration front [4] on length spaces between membranes the electro dialyzer was determined. At the attitude of mobility of isotopes 1,01 (isotopes of easy alkaline elements) speed of movement of a zone [5] makes 4...8 sm/hr. Depending on current density, the interval 150-300 mA/cm<sup>2</sup> is optimum.

#### REFERENCES

1. Guide physical-chemical values. St. Petersburg: Special literature, 1999. – 232 p.
2. Jaroslavzev A.B. Ion exchange on inorganic sorbents // Progress of Chemistry. – 1997– т. 66– №7– P. 641–660.
3. Ismailov N.A. Electrochemistry of solutions. Moscow: Chemistry, 1976. – 488 p.
4. Electroionite processes in two-phase exchange systems of inorganic ionite-solution / I.A. Tikhomirov, A.P. Vergun, L.I. Dorofeyeva. VINITI, 28.03.01, № 757 – B2001.
5. Vergun A.P., Dorofeyeva L.I., Vergasov K. A. Electroregeneration ion-exchanger at isotope separation in exchange counterflow columns. // Materials All-Russia scientific and technical conf., in 5 - Krasnoyarsk, 1999. - P. 190-191.

#### ANNIHILATION OF ELECTRON

Y.V. Petrakov, L.E. Fedotov

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina avenue, 30, 634050

E-mail: alexeypekar@mail.ru

In 1932 A. Anderson discovered the first antiparticle - positron ( $e^+$ ) - a particle with a mass of an electron but with a positive electric charge. The existence of  $e^+$  follows directly from the relativistic theory of the electron developed by Dirac (1928-31) before the discovery of the positron. In 1936 while studying cosmic rays American physicists K. Anderson and S.Neddermeyer found muons (having both signs of electric charge) - particles with a mass of about 200 electrons, but otherwise with remarkably similar to the  $e^-$ ,  $e^+$  properties.

Positrons (positive electrons) in the matter cannot exist because they are annihilated when decelerating, connected to the negative electrons. In this process, which can be seen as the reverse process of pair production, the positive and negative electrons disappear, while the photons transfer their energy.

Annihilation of electron-positron pairs causes the emission of a  $\gamma$ -ray or few  $\gamma$ -rays. One-photon annihilation can occur only if the electron is associated with a third body (for instance, nucleus or electrons).

In the annihilation of electro-positron pair the laws of conservation of energy and momentum are observed. So, if the center of mass of the pair is fixed in the laboratory measurement system, both  $\gamma$ -quanta are emitted in opposite directions with the same energy  $k_1c = k_2c = m_0c^2 = 0.511$  MeV. If the center of mass of the pair is movable, the angles between the directions of expansion of  $\gamma$ -rays will be different from 180 °, and the value is not equal to the energy of 0.511 MeV. Thus, the measurement of the angle  $\theta$  or Doppler shift of the annihilation line  $\Delta E_\gamma$  allows to determine the momentum in  $e^+e^-$  pairs in the laboratory measurement system.

In case of  $3\gamma$ -annihilation conservation laws do not give accurate result when calculating momentum and the energy  $\gamma$ -quanta. In the stationary state, all three  $\gamma$ -quanta are emitted in the same plane. Deviation angle scattering (at the agitated state) from this plane is approximately  $v/c$ . Unlike  $2\gamma$ -annihilation  $\gamma$ -quanta arising from  $3\gamma$ -annihilation have a continuous energy distribution from 0 to 0.511 MeV.

In 1934 to explain the spectra of some stellar nebulae I.H. Mokhorovichich postulated the possibility of bound states between the electron and positron. Associated two-particle system ( $e^+e^-$ ) was named "positronium" (Ps).

#### REFERENCES

1. Prokopiev, E. P., Timoshenkov S. P., Grapatin V. I., Myasishchev G. G., J. V. Funtikov, «Positron book»
2. Akhiezer A. I., M. P. Rekalov. "Biography of elementary particles." -K.: Naukova Dumka, 1983.

3. Dorfman J. G. "History of the world of physics from the early 19th century to mid 20<sup>th</sup> century." -M.: 1979.
4. Zisman, A., Todes O. M. "Course of General physics." -K.: Publishing House. Edelveys, 1994.
5. Kampfer F. "Way into modern physics." -M.: 1972.
6. Krejci. "The world through the eyes of modern physics." -M.: Mir, 1974.
7. Myakishev G.J. "Elementary particles." -M.: Education, 1977.8. Savelyev I. V. "Physics course." -M.: Nauka, 1989.

## PLASMA RECEIVING THERMAL ENERGY FROM SULPHATE LIGNIN

K.G. Piunova, A.G. Karengin.

National Research Tomsk Polytechnic University,  
Russia, Tomsk, Lenina ave., 30, 634050

Lignin is a component of the timber as produced in significant amounts in the processing of wood waste most difficult disposition [1]. According to the International Institute of lignin (International Lignin Institute) annually in the world produced about 70 million tones. Of technical lignin, but it is used for industrial, agricultural and other purposes not more than 2%. The rest is burned in power plants or are buried in the cemeteries [2].

Sulfate lignin (SFL) is formed on the pulp and paper mills chemical pulping of wood in quantities of 30 ÷ 35% of the raw material and has a fairly constant composition [3]: ash 1.0 ÷ 2.5%; acid based on sulfuric acid - 0.1-0.3%; water-soluble compounds - 9 ÷ 11%; resinous compounds 0.3 ÷ 0.4%; Klason lignin - 85%, and the sulfur weight content of which is 2.0 ÷ 2.5%, including unrelated – 0.4 ÷ 0.9%.

In this paper, the possibility and efficiency of production of heat energy in the process of plasma recycling SFL in air plasma in the form of optimal fuel water-organic compositions (WOC) to ensure its efficient and environmentally safe recycling.

The results of the calculations determined the optimal flammable wok with a maximum of SFL (SFL 30% : 70% water), which has  $T_{ad} \approx 1200$  ° C and the calorific value of 6.4 MJ/kg, allows to obtain at recycling 1 ton of waste to 1.8 MW (1.5 Gcal) thermal energy.

This was followed by calculations of equilibrium compositions of gaseous and condensed products SFL plasma utilization in air plasma in the form of optimal fuel WOC. Used for the calculation licensed program TERRA. Calculations were carried out at atmospheric pressure (0.1 MPa) in a wide temperature range (300 ÷ 4000) K and for various mass fractions of coolant air plasma (10 ÷ 95)%.

The results obtained can be recommended for practical implementation of the process under investigation following optimal modes: • the composition of the fuel of: (SFL 30% : 70% water); the weight ratio of the phases: (66% of the air : 34% WOC); • operating temperature range (1200 ± 100) °C.

Conducted research on this installation process plasma recycling SFL as dispersed combustible WOC confirmed the recommended mode for the process.

The results of these studies can be used to create industrial units for plasma recycling sulfate lignins and other combustible waste from the pulp and paper industry.

## REFERENCES

1. K.V. Sarkani, K.H. Ludwig, Lignins. – M. "Forestry", 1975. - 632 p.
2. A.V. Bogdanov, G.D. Rusetskaya, A.P. Mironov, M.A. Ivanova, Integrated industrial waste recycling pulp and paper industry. - Irkutsk: Publishing IrGTU, 2000.- 227 p.
3. Y.I. Khol'kin, Hydrolysis technology industries. – M: "Forestry", 1989.- 480 p.

## GLYCINE ADSORPTION ON TiO<sub>2</sub> AND ZrO<sub>2</sub> NANOPARTICLES SURFACE

A.A. Rakina, A.Yu. Godymchuk

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina ave., 30, 634050

E-mail: [aar37@tpu.ru](mailto:aar37@tpu.ru)

In recent times inorganic nanoparticles (NPs) have attracted much attention because of their unique physico-chemical properties and potential applications in biomedical field such as various imaging and therapy applications, targeted drug delivery [1]. Proper surface modification is important to retain the colloidal stability in complex biological environments. Zwitterionic NP surface coating by small surface ligands can be a promising approach. The detailed structural analyses techniques have confirmed the successful passivation/functionalization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with glycine molecules. These nanoparticles also have showed good colloidal stability, optimal magnetization, biocompatibility with human cancer cell lines and protein resistance behavior with good specific absorption rate [2].

Therefore, developing a method of selecting the optimal passivation/functionalization - process conditions can be useful for future studies connected with different small surface ligands passivated NPs.

The essence of the method is to maintain the particles in the surfactant solution, then separate the liquid phase and analyze it by infrared spectroscopy to determine quantitative indicators of glycine adsorption on the surface of the nanopowder. To construct the calibration curve we prepared 6 aqueous solutions of glycine at a concentration of 0.33 ... 2 M. Construction of the spectrum lines shows intensive absorption bands at 1411.638 cm<sup>-1</sup> and 1330.64 cm<sup>-1</sup>, while in the sample of distilled water there aren't any bands.

As objects of the study plasmachemical titanium oxide (TiO<sub>2</sub>, 22,4 m<sup>2</sup> / g) and zirconia (ZrO<sub>2</sub>, 8,1 m<sup>2</sup> / g) nanopowders have been selected. Suspensions were prepared in a following way: 0.5 g of the nanopowder was added to 20 ml of a freshly prepared 2 M glycine solution. Selected 3 ml of the each supernatant were explored by FT-IR spectroscopy in comparison with a pure solution of 2M glycine. Construction of the spectra lines has showed a narrowing of peaks in areas 1411.638 cm<sup>-1</sup> and 1330.64 cm<sup>-1</sup>. From the values of transmittance for the selected peaks, we can identify the change in concentration of surfactant in the aqueous solution separated from the nanopowder.

It is experimentally shown that the spectral absorption peak in area 1330.64 cm<sup>-1</sup> can help to identify amino groups in aqueous solution [3]. Dependence of glycine concentration on peak height has been determined and depicted graphically. Suppose that for making the suspension a known concentration glycine solution is taken. Then, using measured peak height (1330.64 cm<sup>-1</sup>) and calibration curve, the change of acid concentration and, consequently, its adsorption on the surface of the nanopowder, can be determined.

Thus, on the example of nano TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> suspensions we demonstrate suggested method of quantitative and qualitative assessment of glycine adsorption on the nanopowder surface. It is shown that the aminoacetic acid is adsorbed on the surface of chosen nanopowders imperceptibly, and on a TiO<sub>2</sub> NP's surface phenomenon is more pronounced.

This work was supported by the grant № 15-03-06528 of the Russian Foundation for Basic Research.

### REFERENCES

1. Jutaek N., Nayoun W. Surface engineering of inorganic nanoparticles for imaging and therapy // *Advanced Drug Delivery Reviews*. - 2013. - № 65. - Pp.622-648.
2. K.C. Barick, P.A. Hassan. Glycine passivated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles for thermal therapy // *Journal of Colloid and Interface Science*. - 2012. - № 369. - Pp. 96-102.

3. E.V. Butyrskaya, Nechayev L.S. Shaposhnik V.A. Drozdov E.I. Assignment of the bands in the IR spectra of aqueous solutions of glycine, based on quantum chemical calculations // Sorption and Chromatographic Processes. - 2012. - V. 12. - Issue 4. - Pp. 501-512.

## KINETICS AND MECHANISM OF ORGANIC COMPOUNDS OXIDATION BY PULSED CORONA DISCHARGE

М.А.Самакбаева<sup>1</sup>, Marjatta.Louhi Kultanen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

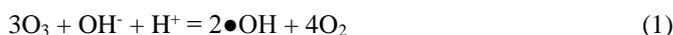
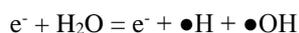
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Lappeenranta University of Technology,

Finland, Lappeenranta, Skinnarilankatu 34, 53850

E-mail: madino4ka555@gmail.com

Nowadays there are huge variety of wastewater treatment methods and oxidation is one of the mostly used. It is not a secret that an dvanced oxidation processes showed their efficiency and methods based on using chemicals to oxidize pollutants becomes a secondary. Ozone is an efficient oxidant of organic matter but its production is expensive. The process of hydroxyl radical generation from ozone/hydrogen peroxide modelled in the 1980s, which made it possible to optimize the use of ozone in the elimination of hazardous pollutants, such as pesticides, PAHs, etc. Now the system ozone/hydrogen peroxide is a new choice for water reclamation and potable reuse. The use of the ozone/hydrogen peroxide system as a tertiary treatment of domestic and urban wastewater could provide reclaimed water to use in agriculture or industrial processes [1]. In the present work, the kinetic and mechanism of organic compounds oxidation have studied. As an oxidation method, we used representative of advanced oxidation processes – pulsed corona discharge oxidation. The effectiveness of electrical discharges generated by high voltage has been proven to degrade pollutants in wastewater [2] also widely used for disinfection of microbial contaminated liquids [3]. In water, high voltage discharge includes a non-thermal plasma method for producing ozone and hydroxyl radicals from water and oxygen [4]. Mechanism for highly reactive oxidants producing based on ozone decomposition follows to these reactions (1-3):



Hydroxyl radicals resulting from the reaction between ozone and hydroxide ions can be generated by either direct attack of the molecular ozone or indirect attack of the hydroxyl radicals. Mostly researches on the ozone decomposition in water based on descriptions of overall kinetics founded for “pure water”. Even so, systems of primary decomposition of ozone are kinetically complex because of free radicals producing, which may react with further ozone to produce more free radicals. The kinetics of this reaction depend on many parameters and the rate reported in the literature is rather difficult and the results from different authors seem contradictory [5].

As objects of research, oxalic acid and phenol have chosen. Pulsed corona discharge reactor was a generator of active oxidants and pulse frequency was changing from 300 to 833 pps. To define temperature dependence there were two different temperature rates: from 10<sup>0</sup>C to 45<sup>0</sup>C in the different pulse frequency conditions, in spite of that fact, the same energy has delivered. According the data about concentration after oxidation, it makes sense say that mechanism of degradation goes by directly ozone influence. The reaction rate constants determined assuming that the combined

effect of the oxidants result in a second order reaction rate: first order relative to the target pollutant and first order relative towards the oxidant. It has found out the most efficient degradation of oxalic acid usually goes on the 60<sup>th</sup> minute of reaction (833pps) and on the 80.3<sup>th</sup> minute in 300 pps pulse frequency level.

#### REFERENCES

1. Rodríguez A., R. Rosal, J. A. Perdigón-Melón, M. Mezcuá, A. Agüera Ozone-Based Technologies in Water and Wastewater Treatment// Springer-Verlag Berlin Heidelberg Env Chem.–2008– 5, Part S/2.–С.127–175
2. Sun B., Sato M., Clements J.S. Use of a pulsed high-voltage discharge for removal of organic compounds in aqueous solution// Journal of Physics D: Applied Physics.–1999.–32. – С.1908-1915
3. Anpilov A., Barkhudarov E., Bark Y., Christofi M., Kozlov Y., Temchin S. Electrical discharge in water as a source of UV radiation, ozone and hydrogen peroxide// Journal of Physics D: Applied Physics.– 2001–34(6).– С.993-999
4. Odo R., Oda T. Dynamics of ozone and OH radicals generated by Pulsed corona discharge in humid- air flow reactor measured by laser spectroscopy// Journal of Applied Physics.–2003.–93(10).–С.5876-5882
5. Hamdi N., Touffet A., Debore M., Journel R. Kinetics of paracetamol oxidation by ozone and hydroxyl radicals, formation of transformation products and toxicity// Science direct Separation purification technology. – 2014–136.– С.137-143.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ СЕРЕБРА НА ТВЕРДОФАЗНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ ЭКСТРАКЦИОННОГО ПЕРЕДЕЛА ПРОИЗВОДСТВА МОКС-ТОПЛИВА НА ФГУП ФЯО «ГХК»

Г.А. Апальков, А.Ю. Жабин, С.И. Смирнов

Федеральное государственное унитарное предприятие

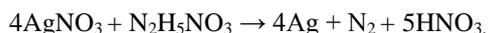
Федеральная ядерная организация «Горно-химический комбинат» (ФГУП ФЯО «ГХК»),

Россия, г. Железногорск, ул. Ленина, 53, 662972,

E-mail: atomlink@mcc.krasnoyarsk.su

В технологии производства МОКС-топлива на площадке ФГУП ФЯО «ГХК» процесс растворения исходного диоксида плутония проводится в присутствии электрохимически регенерируемых катионов  $Ag^{2+}$ , имеющих высокий редокс-потенциал. После проведения экстракционных операций требуется максимально полное выделение серебра из рафината с целью его регенерации для возврата в процесс и отделения от продуктов естественного распада.

Целью работы являлась разработка технологически пригодного способа количественного выделения серебра из технологических азотнокислых растворов производства МОКС-топлива с его последующей регенерацией для возвращения в «голову» процесса (на стадию растворения диоксида плутония). Процесс извлечения серебра из раствора проводили путем его восстановления из модельных растворов технологических продуктов (рафинатов) экстракционного передела производства МОКС-топлива в компактном виде на поверхности (зернистом слое) твердофазного катализатора в присутствии восстановителя гидразин-нитрата с последующей регенерацией выделенного серебра в промывной азотнокислый раствор (4-5М) для возвращения в «голову» процесса:



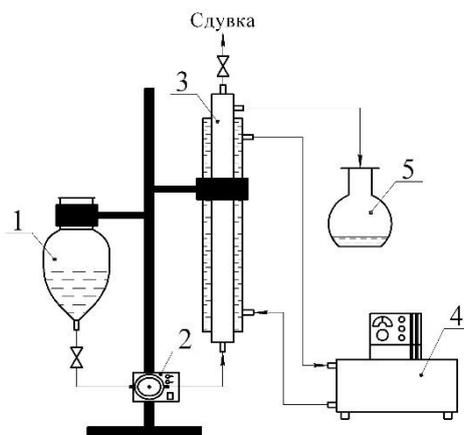


Рисунок. 1. Схема лабораторной установки: 1-питающая емкость; 2-перистальтический насос; 3- каталитическая колонна; 4-термостат; 5-приемная емкость

Параметры процесса: соотношение диаметр/высота слоя катализатора 1:5-1:9, скорость потока – 7 к.о./ч., температура 40-70°C, время контакта раствора с поверхностью катализатора 0,8-1,2 мин.

Таблица 1 - Свойства использованных в работе катализаторов

Тип катализатора	Носитель катализатора	Pt, %	Фракционный состав, мм	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
Pt / ВП-1АП	Анионообменная смола	2,01	0,3 ÷ 0,5	18,5
Pt / SiO <sub>2</sub>	Силикагель АСКГ	1,89	0,3 ÷ 0,5	153
Pt / Zr / SiO <sub>2</sub>	Силикагель АСКГ	0,08	0,25 ÷ 0,35	72
Металлосф. порошок	Сталь 12Х18Н10Т	-	0,4 ÷ 0,5	0,1

В результате лабораторной апробации разработанного способа установлено влияние температуры, солесодержания, концентрации восстановителя, природы катализатора на процесс восстановления (регенерации) серебра. Оптимизацию проводили по изменению в растворе концентрации серебра, определяемой на атомно-абсорбционном спектрометре. Оставшееся в растворе количество серебра не превышало 30 мкг/л. Степень извлечения составила более 99,9%.

## ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ, ПРИНАДЛЕЖАЩИХ БОЛОТНОМУ ООБЩЕТВУ

В.О. Бабичева, Н.К. Рыжакова, Л.Г. Бабешина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [valentina\\_babich@mail.ru](mailto:valentina_babich@mail.ru)

В настоящее время из лекарственных растений готовят около 30% лекарственных препаратов. Биологически активные вещества растений более родственны человеческому организму по своей природе, чем синтетические препараты. Использование растений в качестве лекарственного сырья ставит задачу по контролю содержания в них долгоживущих радионуклидов естественного и техногенного происхождения [1]. Особенно это касается моховидных, которые, как известно, обладают высокими аккумуляционными свойствами.

Целью работы является измерение содержания долгоживущих радионуклидов  $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{Ra}^{226}$ ,  $\text{K}^{40}$ ,  $\text{Cs}^{137}$  в различных видах лекарственных растений, принадлежащих к болотному сообществу в отделах голосеменных, цветковых и моховидных. Растения отобраны на болотах Ханты-Мансийского автономного округа и Томской области. Для анализа использованы различные части растений: дерновина, кора, корни, побеги, ветки, листья, трава. Для получения объединенной пробы растений массой 0,5 – 1,0 кг натуральной влажности отбирали не менее 8 – 10 точечных проб. В полевых условиях наземную часть растений срезали острым ножом или ножницами на высоте 3 – 5 см над поверхностью почвы, укладывали в полиэтиленовую пленку или крафт-бумагу. Далее образцы высушивали при комнатной температуре и размельчали в фарфоровой ступке. Гамма-спектрометрический анализ проводили с помощью гамма-спектрометрического комплекса на основе полупроводникового детектора из особо чистого германия фирмы ORTEC (АМТЕК) и цифрового анализатора ORTEC DSPEC LF [2].

Установлена большая вариабельность активности долгоживущих радионуклидов в образцах. Удельная активность образцов из отделов голосеменных и цветковых составляет: 13...49 Бк/кг для  $\text{Th}^{132}$ ; 21...94 Бк/кг для  $\text{Ra}^{226}$ ; 30...2100 Бк/кг для  $\text{K}^{40}$ ; 4,5...94 Бк/кг для  $\text{Cs}^{137}$ . Удельная активность техногенного  $\text{Cs}^{137}$  не превышает ПДК на пищевые продукты и БАДы - 100 Бк/кг. В образцах из отдела моховидных удельная активность существенно выше: 103...170 Бк/кг для  $\text{Th}^{132}$ ; 3900...6700 Бк/кг для  $\text{K}^{40}$ ; 35...306 Бк/кг для  $\text{Cs}^{137}$ ; содержание  $\text{Ra}^{226}$  в моховидных изменяется в достаточно узком диапазоне 170...200 Бк/кг. Таким образом, моховидные накапливают радионуклиды в значительно большей степени, чем другие лекарственные растения. Следует отметить, что сфагнумы издавна используются в народной медицине, поэтому контроль за содержанием в них радионуклидов является актуальной задачей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная фармакопея СССР. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье/ МЗ СССР. – 11-е изд., доп. – М.: Медицина, 1989. – 400 с.
2. Барсуков В.И. Атомный спектральный анализ. – М.: Издательство «Машиностроение- 1», 2005 г. – 132 с.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ ОБМЕННЫХ И ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ СИСТЕМ ИЗОТОПНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

В.С. Балашков, А.С. Дрогалев, А.А. Котельникова, А.П. Вергун

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [Balashkov\\_vit@mail.ru](mailto:Balashkov_vit@mail.ru)

В настоящий момент ведутся активные исследования в области использования ионитов в процессах разделения изотопов. Это связано с желанием уйти от использования вредных веществ в процессе разделения. Разработаны ряд методов, позволяющих достичь приемлемого коэффициента разделения. Так же было предложено внедрение гибких производственных систем (ГПС) в процессы разделения изотопов.

Применение ГПС в противоточных ионообменных колоннах возможно, так как в них реализуется, обогащение по различным изотопам с минимальной перенастройкой оборудования.

Особенность ГПС состоит в групповой гибко перенастраиваемой технологии ведения процесса обогащения, высокой степени автоматизации, обеспечивающей минимальное участие человека в выполнении прямых производственных функций, связанных с технологическим процессом.

Нами рассмотрены особенности разделения изотопов и ионов щелочных элементов при обмене фазной системе ионит-раствор. Разделение изотопов обменными способами на твердофазных катионитах в колоннах с использованием противоточного режима движения фаз предполагает разработку узла обращения потоков фаз.

При большом числе разработанных конструкций ионообменных противоточных аппаратов электрохимический способ обращения потоков при движущемся слое ионита остаётся не исследованным. Здесь возможны два способа проведения процесса: с использованием шестикамерного аппарата, состоящего из двух трехкамерных, или организация одновременного замещения обогащённой фракции зоной, обедненной по выделяемому изотопу, в трехкамерном электродиализаторе.

Также были рассмотрены методы разделения изотопов по схеме, основанной на сочетании ионного обмена с электромиграцией ионов и осуществляемой в противоточных ионообменных колонках с наложением электрического поля. [1]

В данном методе разделения перенос ионов осуществляется как по фазе раствора, так и по фазе ионита. При этом разработан новый метод разделения в условиях, когда противоточная электромиграция разделяемых изотопов осуществляется как в фазе раствора, так и в фазе ионита путем встречного движения ионов и системы ионит - раствор.

Эффективность электроионитных методов разделения при этом существенно возрастает. Так в сопоставимых условиях степень разделения в предложенном методе в 1,3 раза выше, чем в колоннах с неподвижным ионитом. [2]

В одной из схем разделения изотопов применялось оригинальное совмещение электродйализа и ионного обмена на установке, состоящей из противоточной ионообменной колонки с наложением электрического поля и электродиализатора, присоединенного к ее катодной части.

При разделении изотопов на данной установке существенно повышается число переноса и степень изотопного разделения по сравнению с обычной электрохроматографической колонкой. [3]

Более эффективно осуществляется и каскадирование ступеней типа электродиализатор-колонка, чем одних только электрохроматографических колонн.

Результаты исследований в рассматриваемом направлении являются научной базой для решения задач повышения эффективности разделительных процессов, поиска новых способов разделения и тонкой очистки веществ, определения оптимальных условий их проведения с учетом требований экологии и безопасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вергун А.П., Пуговкин М.М., Шаров Р.В. «Разделение изотопов и тонкая очистка веществ электроионитными и обменными методами.» Томск, ТПУ, 2000
2. Розен А.М. «Теория разделения изотопов в колоннах» - М.: Атомиздат., 1960
3. Власов В.А., Вергун А.П., Орлов А.А. «Разделительные процессы с применением ионообменных материалов» - Томск: ТПУ, 2002

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАЗМАТРОНОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА

В.Ф. Мышкин, Е.В. Беспала, В.А. Хан

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [bespala\\_evgeny@mail.ru](mailto:bespala_evgeny@mail.ru)

При эксплуатации уран-графитовых реакторов (УГР) замедлитель становится радиоактивным. В мире, после остановки всех АЭС с РБМК, масса отработавшего реакторного графита составит около 260 тыс. тонн. В России и за рубежом ведутся исследования, направленные на разработку технологии переработки облученного ядерного графита [1]. Однако большинство известных способов утилизации ведут к накоплению ещё большего количества радиоактивных отходов, содержащих радиоактивный изотоп  $^{14}\text{C}$ . Поэтому актуальна задача поиска метода переработки облученного реакторного графита.

Одним из перспективных методов утилизации реакторного графита является его переработка в низкотемпературной плазме. В работе [2] была показана возможность разделения изотопов углерода между газовой и дисперсной фазами в результате плазмохимических процессов, протекающих во внешнем магнитном поле. Установлено, что при использовании постоянных магнитов с остаточной намагниченностью 0.2 Тл содержание  $^{13}\text{C}$  в продуктах реакции достигает 1.4%. При использовании магнитов с намагниченностью 1.2 Тл содержание  $^{13}\text{C}$  в продуктах реакции возросло до 1.78%. Показано, что процесс спиновой сепарации изотопов углерода также применим для радионуклида  $^{14}\text{C}$ , содержащегося в облученном реакторном графите.

При разработке плазмохимической технологии переработки облученного графита необходимо добиваться увеличения коэффициента разделения изотопов. При этом изотопный эффект зависит от многих факторов: состава плазмообразующей смеси, частоты столкновений частиц и электрофизических характеристик плазмы, условий теплообмена, геометрии плазмохимического реактора. Причиной недостаточной сепарации также может быть длительное время контакта продуктов и исходных веществ в реакторе. Поэтому для увеличения коэффициента разделения изотопов необходимо оптимизировать параметры, оказывающие наибольшее влияние на процесс сепарации изотопов.

Газовые потоки в плазмохимическом реакторе моделировали в среде COMSOL Multiphysics с учетом выделения энергии в канале электрического разряда. Для разных плазмообразующих смесей, соотношения диаметра и длины плазмохимического реактора рассчитывали время нахождения газовой смеси в зоне химических реакций и скорость закалки. По результатам моделирования определены размеры ВЧ-факельного и дугового плазматронов, необходимый расход плазмообразующего газа, обеспечивающие наибольший эффект при спиновой сепарации изотопов углерода.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыганов А.А., Хвостов Т.Б., Комаров Е.А., Павлюк А.О., Котляревский С.Г. Проблема утилизации реакторного графита остановленных промышленных уран-графитовых реакторов // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т.310. – №2.
2. Myshkin V.F., Khan V.A., Plekanov V.G., Izhoukin D.A., Bepala E.V. Spin isotope separation under incomplete carbon oxidation in a low-temperature plasma in an external magnetic field // Russian Phys. J.. – 2015. – V.57. – № 10. – PP. 1442–1448.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИИ ВОДОРОДА НАНОСТРУКТУРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Е.А.Борецкий, Д.Л.Верхорубов, Д.Г.Видяев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [eab18@tpu.ru](mailto:eab18@tpu.ru)

Для создания водородсодержащих систем с повышенной емкостью [1], необходимо произвести изучение процессов сорбции водорода материалами, такими как аллотропные модификации углерода, а также металлами и неметаллами. С этой целью создана исследовательская установка, схема которой приведена на рисунке 1.

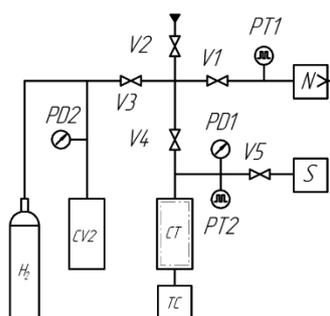


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки для исследования сорбции

Исследовательская установка состоит из следующих элементов: прогреваемый реактор *СТ*, который соединен с термоконтроллером *ТС* осуществляющим изменение скорости и диапазона нагрева. Форвакуумный насос *N* производит откачку системы до давлений ниже атмосферного. Контроль давления в системе осуществляется с помощью манометрических *PD* и термопарных *PT* преобразователей. В качестве источника водорода используется установка по получению водорода QL 500 с производительностью 0,5 л/мин и давлением на выходе 0,4 МПа. Контроль выделяющегося в реакторе водорода осуществляется с помощью квадрупольного масс-спектрометра MS-7.

Функционально, установка обеспечивает выполнение следующих операций: исследование сорбции водорода нанодисперсными материалами методом программируемой термодесорбции и изотермическим методом; прогрев образцов в диапазоне температур 20÷800°C; изменение скорости нагрева материалов интервале 0,1÷25°C/мин; изучение сорбции водорода в диапазоне давлений 0,133÷4·10<sup>5</sup> Па; получение зависимости концентрации выделяющегося водорода с изменением температуры; получение зависимости изменения давления водорода от времени.

На основе экспериментальных данных можно произвести расчет и определение кинетических параметров сорбции водорода: энергии активации, скорости реакции, емкость системы и др.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Видяев Д.Г., Савостиков Д.В., Селянин А.С., Сидоркин А.С. О кинетике сорбции водорода наноструктурными композитными материалами // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т.56. № 11/3. – С. 280–283.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ РЗЭ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ФОСФОР-СОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ

А.С. Буйновский, В.И. Сачков, П.Б. Молоков, А.В. Ануфриева  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31, 115409  
E-mail: [ASBujnovskij@mephi.ru](mailto:ASBujnovskij@mephi.ru)

Хорошо известно, что многие фосфатные руды и концентраты содержат в различных количествах наряду с РЗЭ уран и торий. Например, в разных партиях монацитовых концентратов г. Красноуфимска сумма редких земель составляет 50-60 мас. %,  $\text{ThO}_2$  – 4-7 %,  $\text{SiO}_2$  – 0,6-2 % [1]. По сравнению с монацитовыми концентратами содержание радиоактивных элементов в апатитовых рудах и концентратах мало и не играет значимой роли при переработке данного сырья на удобрения, т.к. в этом случае не возникает потоков их концентрирования. Но в связи с привлекательностью апатита как источника РЗЭ сырья из-за близости многих свойств урана, тория и РЗЭ при выделении редкоземельных элементов возникает опасность концентрирования радионуклидов до более значимых уровней.

При переработке руд и концентратов, содержащих уран, торий и РЗЭ, по азотнокислой технологии достаточно часто предлагается извлекать уран и торий экстракционными методами. Наиболее широко применяемые экстрагенты – ТБФ и Ди2ЭГФК, и их смеси. Необходимо отметить принципиальное отличие процессов получения РЗЭ из монацита и апатита – если в первом случае сейчас монацит в России не перерабатывается, и рассматривать его можно как непосредственный источник РЗЭ, то апатит перерабатывается в значительных объемах, но как сырье для производства удобрений. Из этого следует, что при выборе способа извлечения РЗЭ из апатитового сырья следует ориентироваться на уже существующие технологии и промышленно освоенные технологии, выводя концентрат РЗЭ как дополнительный продукт при наименьшем влиянии на основные производственные потоки. В связи с этим оптимальным способом выделения РЗЭ-концентрата из азотнокислотных растворов переработки апатита является его выделение осаждением в форме гидратно-фосфатных осадков. После этого данный концентрат можно растворить в азотной кислоте и направлять на экстракционное извлечение РЗЭ при помощи ТБФ.

Были проведены эксперименты по экстракционному извлечению РЗЭ из раствора азотнокислотного выщелачивания РЗЭ-концентрата. Получено, что за 5 ступеней при соотношении О:В = 1,5:1 РЗЭ извлекаются на 99,3 % . Анализ на содержание основных примесей в рекстракте – железа и кальция, показал, что  $[\text{Fe}_{\text{общ}}] = 0,2$  г/л,  $[\text{Ca}] = 0,15$  г/л, таким образом, очистка от железа произошла в 33,4 раза, от кальция – 2,7 раз. Анализ на содержание фосфора в рекстрактах показал, что после первой ступени фосфор еще обнаруживается в концентрациях 0,1-0,2 г/л, но уже после второй ступени его содержание находится ниже предела обнаружения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Репина С.А., Попова В.И., Баженова Л.Ф. Минералогия монацитовых концентратов ОГУ «Уралмонацит» // Уральский минералогический сборник. – 2008. – № 15. – С. 17-26.

## ПЕРЕРАБОТКА U-МО ТОПЛИВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТВС ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ

И.В.Васильков

Публичное акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов"

Россия, г.Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94, 630110

E-mail: nzhk@nccp.ru

Развитие технологии изготовления топлива для исследовательских реакторов в последние годы происходит в направлении их конверсии - замены топливной составляющей высокого обогащения (HEU) на топливо низкого обогащения (LEU) применением всё более плотных топливных композиций. Для сохранения рабочих характеристик реакторов следует обеспечить загрузку в топливные элементы того же количества U-235 при его меньшем содержании (обогащении) в топливе. Конверсию высокопоточных реакторов можно сделать только применением металлического урана, который обычно легируют молибденом для придания фазовой устойчивости. Поскольку новая технология может быть только сложнее, а повысить эксплуатационные свойства таким путём невозможно, основным положительным эффектом конверсии является решение очень важной международной проблемы - исключение распространения делящихся материалов по линии научной и коммерческой деятельности в области ядерного материаловедения и наработки медицинских изотопов. Поэтому второй задачей, после отработки технологии изготовления топлива для исследовательских реакторов на основе LEU, является поиск способов удешевления производства.

Наиболее эффективным направлением является переработка отходов с целью возврата топливной составляющей назад в производство. В данном докладе рассматривается процесс переработки отходов при изготовлении U-9Mo дисперсионного топлива в алюминиевой матрице и алюминиевой оболочке. В состав отходов входят фрагменты топливной композиции в виде обрезков твэлов, прессостатков или других оборотов, некондиционные изделия. В период освоения технологии доля отходов по топливу может составлять десятки процентов, в процессе изготовления продукции при тщательном и строгом контроле распределения топливных частиц в готовых изделиях может достигать в отдельные периоды до 10%.

Некондиционные фрагменты топливной композиции в виде обрезков твэлов, прессостатков или других оборотов сортируют и загружают в отдельные для каждого вида оборотов пористые корзины из материала, не взаимодействующего с едким натром и раствором азотной кислоты, затем опускают в реактор из нержавеющей стали выполненный в ядерно-безопасном исполнении в раствор едкого натра. Концентрация раствора едкого натра 5-30%. В процессе травления алюминия контролируют температуру и верхний уровень раствора. В случае подъёма температуры до 75 °С корзину извлекают из раствора, либо увеличивают поток охлаждающей воды в охлаждающую рубашку реактора. После окончания процесса растворения алюминия корзину с извлечённым порошком ядерного топлива промывают дистиллированной водой до нейтральной реакции и опускают в реактор с раствором азотной кислоты на короткое время. В процессе обработки контролируют содержание молибдена в используемом растворе азотной кислоты, которое не должно превышать 25 г/л. Далее порошок просушивают и перегружают в специальный контейнер.

Предложенная схема переработки U-Мо отходов, которая позволяет снизить производство высокоплотного топлива LEU до 10%.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

В.А. Власов<sup>1,2</sup>, П.В. Космачев<sup>2</sup>, Н.К. Скрипникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

E-mail: [pykosm@gmail.com](mailto:pykosm@gmail.com)

На сегодняшний день применение нанопорошка диоксида кремния получило широкое распространение в различных отраслях промышленности, например, в стройиндустрии в качестве модифицированных добавок для бетонов, строительных растворов, сухих строительных смесей, теплоизоляционных и термостойких материалов. Среди наиболее популярных методов его получения известны электронно-лучевой, плазмохимический, электродуговой и другие [1-3].

Целью работы являлось выявление технологических особенностей процесса получения нанопорошка SiO<sub>2</sub> при помощи энергии низкотемпературной плазмы.

В работе описан способ получения наночастиц диоксида кремния, реализованный с помощью экспериментальной плазменной установки, разработанной на кафедре прикладной механики и материаловедения Томского государственного архитектурно-строительного университета. К преимуществам данной установки можно отнести простоту конструкции, отсутствие необходимости применения хлорсодержащего сырья.

Принцип работы установки основан на взаимодействии высококонцентрированных потоков плазмы генерируемой плазмотроном прямого действия с порошкообразным силикатным материалом (кварцевый песок, молотое стекло, гранит). Под действием плазмы в реакторе происходят физико-химические процессы плавления сырья, с последующим испарением расплава. Также параллельно происходят процессы сублимации высококремнеземистого сырья. Более того, после образования расплава в нем возникает электропроводность и за счет джоулева нагрева происходит дополнительное испарение частиц диоксида кремния. Газовая фаза осаждается на водоохлаждаемых поверхностях реактора путем образования пленки.

Проведенные исследования показали, что частицы имеют сферическую форму с преимущественным диаметром менее 100 нм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукашин А.В., Елисеев А.А. Физические методы синтеза наноматериалов. Методические материалы – М: МГУ, – 2007. – 32С.
2. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема – М: Академкнига. – 2004. – 208 С.
3. Сазонов Р.В., Холодная Г.Е., Пономарев Д.В., Кайканов М.И. Импульсный плазмохимический синтез ультрадисперсного диоксида кремния из металлоорганического прекурсора // Изв. вузов. Физика 6/2. –2012. – Т.55 – С. 72–76.

## КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ ОБОРОТОВ ТАБЛЕТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е.В. Выходцев, А.Л.Хлытин

Публичное акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов"

Россия, г.Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94, 630110

E-mail: nzhk@nccp.ru

Одной из основных задач, которые предприятие постоянно решает, является повышение эффективности производства при одновременном соблюдении качественных характеристик продукции и при минимальном воздействии на окружающую среду. В этом отношении ПАО «НЗХК» совершил инновационный скачок при переходе с «мокрой» АДУ-технологии получения порошков диоксида урана обогащением до 5 % по урану-235 на «сухую» схему методом восстановительного пиролизного гидролиза (ВПГ). При всех других преимуществах эта технология позволила снизить себестоимость изготовления топливных таблеток на 30-40 %. Однако, реорганизация производства была бы не полной, если бы оставалась проблема переработки оборотов таблеточного производства, для которой нужна линия АДУ. В связи с планируемым закрытием возникла необходимость в альтернативной схеме обращения с отходами.

В то же время таблеточное производство предусматривает введение в исходный пресспорошок закиси-оксида для оптимизации процесса прессования таблеток. Для этого используют, некондиционные спечённые таблетки, которые предварительно окисляют на воздухе. Отсутствие добавок закиси-оксида повышает риск получения таблеток с дефектами (внутренними и внешними трещинами).

К оборотным отходам относятся некондиционные порошки и спеченные и неспеченные таблетки, шлифотходы, сметки и др. Все они имеют одну общую особенность, препятствующую их прямому вовлечению в процесс – это относительно высокое содержание различных примесей (органических веществ, бора, алюминия, кремния и др.), при этом наиболее высокое содержание примесей в шлифотходах.

Проведённые исследования показали, что в процессе спекания в высокотемпературных печах в атмосфере водорода происходит снижение различных примесей. Диапазон исследований был до 1500 ppm по анализируемым примесям. Было изучено самостоятельное их поведение и в комплексе с другими примесями. Так было установлено, что при спекании брикетов из диоксида урана с различным содержанием примесей в печи ВТУ (высокотемпературная зона  $1770 \pm 10$  °С, атмосфера - водород) происходит эффективное снижение содержания алюминия, кремния, бора, углерода, а также некоторое снижение по ряду других примесей. Таким образом, при ограниченном использовании для подшифтовки к пресспорошку оборотов, изготовленные таблетки полностью удовлетворяют требованиям ТУ 95 1823-2001Е по химическому составу. Все это открывает широкие возможности по вовлечению оборотов.

Однако, использование их напрямую ограничено в связи с их негативным влиянием на качественные характеристики таблеток и на параметры микроструктуры. Поэтому при разработке технологии их вовлечения были отработаны приемы, позволившие обеспечить требуемые качественные характеристики таблеток.

В результате проведенных исследований была разработана схема вовлечения всех оборотов таблеточного производства с исключением необходимости в экстракционных очистках по АДУ-технологии. Всё это позволило снизить стоимость их утилизации более чем в 2 раза.

## ВРЕМЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОНУКЛИДНОЙ ЧИСТОТЫ (РНЧ) ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ.

А.А. Гарапакский

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [garapatski@tpu.ru](mailto:garapatski@tpu.ru)

При бомбардировке мишени заряженными частицами в результате ядерных реакций образуются радиоактивные ядра-продукты. Число возможных реакций растёт с увеличением энергии частиц по мере того, как энергия частиц становится больше энергии порога всё большего числа реакций [1].  $A(a, \sum b_i)B$ , где  $A$  – ядро-мишень;  $a$  – бомбардирующая частица;  $\sum b_i$  – испускаемые частицы;  $B$  – ядро продукт. Образующиеся радионуклиды распадаются в процессе облучения. При выборе энергии частиц руководствуются тем, что на конец облучения (ЕОВ) должен быть максимальный выход целевого изотопа при минимальном выходе нецелевых изотопов. В работе предлагается при выборе энергии облучения брать в расчет не ЕОВ, а RCY-время радиохимического выхода в процессе мечения субстанции при условии достижения РНЧ. Рассмотрено получение целевого радиоизотопа  $^{67}\text{Ga}$  по реакциям  $^{66}\text{Zn}(d,n)^{67}\text{Ga}$ ;  $^{67}\text{Zn}(d,2n)^{67}\text{Ga}$  на мишень из природного цинка  $^{\text{nat}}\text{Zn}$  (48.9% Zn-64, 24.8% Zn-66, 4.1% Zn-67, 18.6% Zn-68, 0.6% Zn-70) и на мишень из обогащенного до 99%  $^{66}\text{Zn}$ . Получена зависимость выхода целевого «чистого»  $^{67}\text{Ga}$  (с активностью  $^{66}\text{Ga}$  меньше 0.5%), полученного по реакции  $^{66}\text{Zn}(99\%)(d,n)^{67}\text{Ga}$  в зависимости от энергии дейтронов в диапазоне 8.5 - 13 МэВ для различных периодов времени после окончания облучения. Ожидаемый максимальный выход «чистого»  $^{67}\text{Ga}$  будет равен 14.4 МБк/( $\mu\text{A}\cdot\text{ч}$ ) спустя 26 часов после окончания облучения дейтронами с энергией 9,5 МэВ. Таким образом, при использовании дейтронного пучка циклотрона Р7М предпочтение следует отдать реакции  $^{66}\text{Zn}(d,n)$  на обогащенной мишени при энергии дейтронов 8,7-9,2 МэВ.

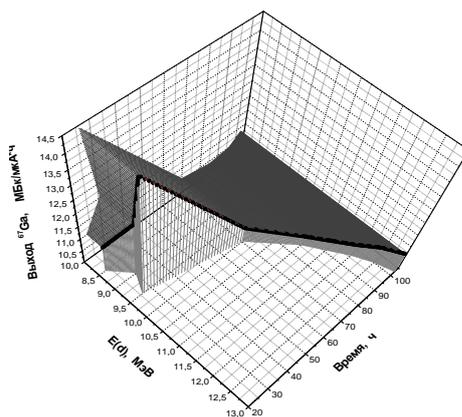


Рисунок. 1. Зависимость выхода «чистого»  $^{67}\text{Ga}$  по реакции  $^{66}\text{Zn}(99\%)(d,n)$  в зависимости от энергии дейтронов и периодов времени после облучения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев П.П. Выход радионуклидов в реакциях с протонами, дейтронами, альфа-частицами и гелием-3: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ВСКРЫТИЯ МОНАЦИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

М. Ф. Джаббарова, М. В. Туринская, В. В. Шагалов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mvt6@tpu.ru](mailto:mvt6@tpu.ru)

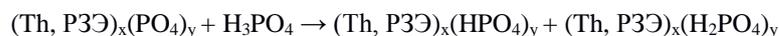
Одной из главных проблем современной энергетики является исчерпаемость ресурсов. В качестве альтернативного источника энергии можно рассматривать  $\text{Th}^{232}$ , который является сырьевым нуклидом для получения делящегося нуклида  $\text{U}^{233}$ . Реакторы с использованием тория имеют ряд преимуществ. Во-первых, содержание тория в земной коре превышает содержание урана в 3-4 раза. Прогнозируемые ресурсы тория составляют около 1 млн. тонн на территории России. Во-вторых, торий не требует трудоемкого изотопного разделения, так как в природе содержится преимущественно один изотоп тория. В-третьих, ториевые реакторы не обладают запасом реактивности, следовательно, невозможно возникновение неконтролируемой цепной реакции [1]. В природе торий всегда сопутствует редкоземельным элементам, которые также нашли широкое применение в современной технике, поэтому целесообразно их извлекать совместно.

Основным источником тория и РЗЭ является монацит. На данный момент существует два основных способа вскрытия монацита: щелочной и сернокислотный [2]. Эти методы наносят ущерб окружающей среде, а также являются дорогостоящими и трудоемкими, к примеру, серную кислоту после вскрытия монацита нельзя регенерировать для повторного использования.

Целью данной работы является разработка фосфатного способа вскрытия монацита для дальнейшего выделения тория и РЗЭ.

Для работы использовался монацитовый концентрат. К концентрату приливали концентрированную фосфорную кислоту и нагревали до 350 - 380 °С в течение некоторого времени. При этом нерастворимые средние фосфаты тория и часть РЗЭ переходят в растворимые кислые фосфаты. Непрореагировавший осадок, представляющий собой минералы циркона и ильменита (которые не растворяются в фосфорной кислоте), отделяли центрифугированием и промывали небольшим количеством воды. Вскрытие монацитового концентрата происходит на 95% по торию и РЗЭ в одну стадию.

Исходя из полученных данных, можно предположить протекание реакций по схеме:



Предложенный способ может стать основой для нового метода переработки монацитовых руд.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пелымский Г. А., Котова В. М., Чехович П. А., Капитонов И. М. Торий – перспективный сырьевой ресурс атомной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://istina.msu.ru/media/publications/articles/beb/765/395519/ron\\_1\\_2012\\_electron.pdf](http://istina.msu.ru/media/publications/articles/beb/765/395519/ron_1_2012_electron.pdf), – 28.04.2014
2. Ягодин Г. А., Синегрибова О. А., Чекмарев А. М. технология редких металлов в атомной технике: учебное пособие для вузов. Под ред. Б. В. Громова. – М.: Атомиздат, 1974. – 344 с.

## РЕГЕНЕРАЦИЯ СЕРЕБРА ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ БЕССОЛЕВЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ

А.С. Дьяченко

Федеральная ядерная организация

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

«ГОРНО-ХИМИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ» (ФГУП «ГХК»),

Россия, г. Железногорск, ул. Ленина 53, 662972,

E-mail: [atomlink@mcc.krasnoyarsk.su](mailto:atomlink@mcc.krasnoyarsk.su)

Рафинат, образующийся в процессе экстракционной очистки плутония от америция в технологической схеме УПП производства МОКС-топлива на ФГУП «ГХК», содержит в своем составе и америций, и нитрат серебра, применяемый в качестве катализатора электрохимического растворения диоксида плутония. С целью возвращения серебра на операцию растворения требуется максимально полное и селективное отделение серебра от америция в этих растворах.

Существующие технологии выделения серебра, такие как электролитическое рафинирование или восстановление из аммиачно-нитратных сред, не приемлемы для радиохимического производства по причине сложности организации процесса или образования трудноутилизуемых отходов.

Целью работы являлась разработка способа отделения серебра от америция, технологически пригодного для радиохимических производств, который позволит количественно выделять серебро из технологических азотнокислых растворов производства МОКС-топлива.

Извлечение серебра проводили на модельных растворах с использованием карбогидразида (КГ) в качестве восстановителя и аминокусусной кислоты (АУК) в качестве вспомогательного агента. Добавление аминокусусной кислоты к раствору нитрата серебра уменьшает концентрацию свободных ионов водорода, поскольку АУК имеет в своем составе аминную группу, способствующую увеличению концентрации свободного (непротонированного) восстановителя и, как следствие, увеличению скорости реакции восстановления серебра и уменьшению количества вводимого восстановителя.

Установлено влияние температуры, концентрации восстановителя и вспомогательного агента на степень извлечения серебра и дисперсный состав порошка.

Определено, что процесс предпочтительно проводить при соотношении АУК: $\text{HNO}_3$  равном (1-1,5), температуре раствора 60-70°C и двухкратном, относительно стехиометрии, избытке карбогидразида.

Концентрация серебра в маточном растворе не превышала 0,5 мг/л, что обеспечивает степень извлечения серебра из исходного раствора 99,99 %. Разработанный метод позволяет получать хорошо фильтруемые осадки металлического серебра.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2378398 РФ. МПК С22В11/00. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРЕБРА / Ю.А. Сидоренко. Заявлено 11.03.2008; Опубл. 10.01.2010 – 8 с.

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА РАСТВОРЕНИЕ ДИОКСИДА ПЛУТОНИЯ

В.В. Бондин, Е.О. Григорьева, И.Г.Ефремов А.В. Сиротина

ФЯО ФГУП Горно-химический комбинат,

Россия, г.Железногорск, ул. Ленина 58<sup>а</sup>

E-mail: bondin@mcc.krasnoyarsk.su

В настоящее время одним из наиболее перспективных методов растворения  $\text{PuO}_2$  является электрохимическое окислительное растворение в присутствии  $\text{Ag(II)}$ . Недостатками данного метода растворения являются: высокая агрессивность среды, быстрое восстановление  $\text{Ag(II)}$ . Ввиду этих недостатков необходим тщательный подбор материалов для аппарата растворителя. Результаты ранее проведенных испытаний по изучению влияния конструкционных материалов на кинетику накопления  $\text{Ag(NO}_3)_2$  и исследованию их коррозионных свойств показали, что наиболее приемлемым материалом для аппарата растворителя диоксида плутония выбран титан марки ВТ1-0.

В рамках данной работы продолжено изучение влияния конструкционного материала титана ВТ1-0 и его образцов сварного соединения на кинетику накопления  $\text{Ag(II)}$  и определение оптимальных режимов данного процесса. В качестве оборудования для опытов использовался электролизер с ионообменной мембраной. Катод изготовлен из сетки титана ВТ1-0, анод выполнен из листовой платины чистотой 99,99 процентов. Концентрацию  $\text{Ag(II)}$  определяли методом обратного пермарганатометрического титрования. Присутствие образца титана ВТ1-0 вызывало уменьшение стационарной концентрации  $\text{Ag(NO}_3)_2$  с 0,025 моль/л до 0,017 моль/л, т.е. химический выход не превышал 32 процентов. Химический выход  $\text{Ag(II)}$  в присутствии сварного образца не превышает 36 процентов и уступает скорости накопления  $\text{Ag(II)}$  в «холостом» опыте.

Также титановая пластина и сварной образец титана были подвергнуты гидроабразивному и коррозионному износу. На основании этих данных проведено определение коррозионной стойкости материалов. Скорость коррозии образца титана составила  $g_k=0,051\text{г/м}^2\cdot\text{ч}$ ,  $h_k=0,097\text{мм/год}$ .

Скорость коррозии сварного образца титана ВТ1-0 при интервале плотности тока 1-6А/дм<sup>2</sup> не превысила  $g_k=0,103\text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ ,  $h_k=0,199\text{мм/год}$ . При визуальном осмотре поверхности титана не обнаружено локальной коррозии в виде питтинга и язв, что позволят отнести данный материал к категории коррозионностойких для данных условий. Скорость коррозии сварного соединения титана не превышает нормы в растворах  $\text{HNO}_3$  в интервале температур 20-80С°  $g_k=(0,013-0,26)\text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ ,  $h_k=(0,027-0,053)\text{ мм/год}$ .

Таким образом, основной металл титана марки ВТ1-0 и его сварное соединение не подвергается существенным коррозионным изменениям в растворе 6М  $\text{HNO}_3$  при температуре 25С° содержащем в среднем 0,017 моль/л  $\text{Ag(II)}$ . Концентрация  $\text{Ag(II)}$  в присутствии образца титана уменьшается в среднем на 25 процентов, но при проведении испытаний по растворению диоксида плутония было выяснено, что данное понижение концентрации серебра не влияет на кинетику растворения  $\text{PuO}_2$ . Так как скорость коррозии для титана и сварного образца титана находятся в сравнимых пределах, можно сделать вывод, присутствие сварного образца также не будет оказывать влияния на процесс растворения  $\text{PuO}_2$ . Данный сплав может быть рекомендован в качестве конструкционного материала аппарата электрохимического растворения диоксида плутония.

## ПЛАЗМЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СМЕСЕВЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАН-ТОРИЕВОГО ТОПЛИВА

В.В. Зубов, И.Ю. Новоселов, И.В. Шаманин, А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: nessheh@gmail.com

Значительную часть ядерной энергетики в двадцать первом веке будут составлять электростанции с тепловыми реакторами, которые необходимо обеспечить недорогим топливом на весь период эксплуатации. С учетом ограниченности ресурса U-235 и пока не полностью решенных проблем лицензирования МОКС-топлива для использования в отечественных тепловых реакторах, использование Th 232 в составе топлива тепловых ядерных реакторов открывает новые перспективы.

Плазменная технология получения оксидных композиций из смесевых нитратных растворов обладает многими важными особенностями, выгодно отличающими ее от технологии, основанной на механическом смешении компонентов [1,2]. Это возможность получения гомогенного распределения компонентов и заданного стехиометрического состава во всем объеме порошка; чистота материала, возможность активно влиять на морфологию частиц, если это является важным. Однако, эта технология требует больших удельных энергозатрат. Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазменной обработке смесевых нитратных растворов в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-органических композиций (ВОК) [3].

В результате проведенных расчетов показателей горения ВОК на основе этилового спирта и ацетона, обладающих высокой взаимной растворимостью, определены составы горючих ВОК, обеспечивающие их энергоэффективную переработку в воздушной плазме.

По результатам проведенных расчетов равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной переработки горючих ВОК определены оптимальные режимы исследуемого процесса в воздушной плазме. Для расчетов использовалась лицензионная программа «TERRA».

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазменного получения смесевых оксидных уран-ториевых композиций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туманов Ю. Н., Бутылкин Ю. П., Коробцев В. П., Бевзюк Ф. С., Грицюк В.Н., Батарее Г. А., Хохлов В. А., Галкин Н.П. Способ получения урансодержащих смесевых оксидов. — Авт. свидетельство СССР № 904393, 1976.
2. Toumanov I.N., Sigailo A. V. Plasma Synthesis of Disperse Oxide Materials from Disintegrated Solutions // Materials Science and Engineering. 1991. V. A140. P. 539-548.
3. A.G. Karengin, A.A. Karengin, I.Yu. Novoselov, N.V. Tundeshev, Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling, Advanced Materials Research, Volume 1040 (2014) 433-436.

### СУБЛИМАЦИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР РЕНИЯ-188

В.В. Зукау, В.Г. Меркулов, Е.В. Чибисов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [chibisov@tpu.ru](mailto:chibisov@tpu.ru)

Рений-188, благодаря своим ядерно-физическим характеристикам, находит широкое применение для терапии различных заболеваний человека в современной ядерной медицине. Радионуклид рения-188 является генераторным и образуется в результате  $\beta$ -распада материнского вольфрама-188, который, в свою очередь, получают по реакции  $(n, \gamma)$  второго порядка из вольфрама-186. Ранее нами была показана возможность наработки целевого вольфрама-188 из оксида вольфрама (VI) природного изотопного состава на среднетемпературных реакторах до удельной активности  $^{188}\text{W}$  порядка 0,05 Ки/г [1]. Использование такого сырья в качестве стартовой мишени приводит, с одной стороны, к уменьшению себестоимости целевого продукта, с другой – к значительному увеличению массы самой мишени до 25-26 г по  $\text{WO}_3$ , что потребует использования финишных концентрирующих технологий для получения высокоактивного препарата рения-188.

К концентрирующим технологиям, несомненно, относятся сублимационные. Они характеризуются меньшим количеством химических превращений по сравнению с экстракционными и хроматографическими.

Для разделения генераторной пары  $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$  разработана и смонтирована установка, основанная на сублимационном выделении рения-188 из низкоактивной мишени оксида вольфрама природного изотопного состава. Генератор рения-188 состоит из четырех блоков:

1. Блок вскрытия и подготовки мишени;
2. Блок сублимационного разделения генераторной пары  $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ ;
3. Блок растворения сублимата и розлива препарата рения-188;
4. Блок получения кислорода.

Контроль и управление работой генератора  $^{188}\text{Re}$  производится с помощью процессора по программе, включающей 7 команд. Время получения препарата рения-188 не превышает 90 мин. Температура проведения процесса сублимации составляет 700-760 °С. Радиохимический выход целевого радионуклида рений-188 – до 70 %, относительное содержание вольфрама-188 в конечном продукте не превышает  $1 \cdot 10^{-3}$  %, радиохимическая чистота препарата рения-188 – более 98,8 %.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Preparation of  $\{188\}$  W from Unenriched Targets in Middle Flux Nuclear Reactors [Electronic resource] / A. O. Pavluk [et al.] // Advanced Materials Research: Radiation and nuclear techniques in material science : Scientific Journal. — Vol. 1084 : Physical-Technical Problems of Nuclear Science, Energy Generation, and Power Industry (РТПАИ -2014). — [P. 317-321]

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ РАДИОФАРМПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ЦИПРОФЛОКСАЦИНА, МЕЧЕНОГО ТЕХНЕЦИЕМ

Ю.Н. Ильюшенко, С.И. Сазонова, Н.В. Варламова, М.Р. Карпова

НИИ кардиологии

Россия, г.Томск, ул. Киевская 111а, 634012

E-mail: [biofizik85@mail.ru](mailto:biofizik85@mail.ru)

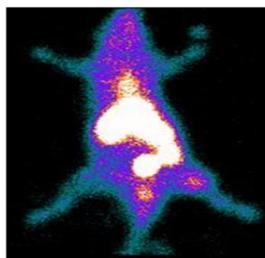
Диагностика воспалительных процессов бактериальной этиологии остаётся одной из наиболее актуальных проблем современной медицины. Ее решением может служить применение сцинтиграфии с использованием нового поколения радиофармпрепаратов (РФП) на основе меченных изотопной меткой антибиотиков, специфично накапливающихся в очагах инфекционного воспаления. Нами были предложены методы синтеза и анализа РФП из указанной группы – ципрофлоксацина, меченного  $^{99m}\text{Tc}$ . Актуальным являются доклинические испытания данного радиодиагностического средства, включающие в себя, в том числе, исследование механизма его действия и функциональную пригодность [2].

**Цель.** Исследовать механизм действия и функциональную пригодность ципрофлоксацина, меченного  $^{99m}\text{Tc}$ .

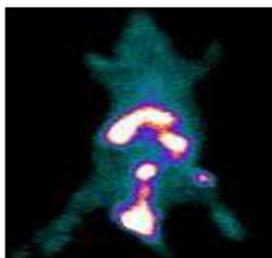
**Материалы и методы.** Нами была исследована антибактериальная активность ципрофлоксацина, готового РФП и реагента для его приготовления. Контроль антимикробной активности проводили с использованием суточной бульонной культуры *S. Aureus*, которую заседали в чашку Петри на поверхность МПА газоном. Сверху накладывали стерильные диски, смоченные растворами субстанции ципрофлоксацина, реагентом для приготовления РФП и готовым РФП. В качестве контроля использовали коммерческий диск с ципрофлоксацином.

Кроме того, нами была определена степень связывания РФП с живой бактериальной культурой. Для этого в стерильные флаконы вливали по 0,7 мл живой бактериальной культуры, инактивированной культуры и резистентной культуры *S. Aureus*. Затем во флаконы добавляли по 1 мл (20 МБк)  $^{99m}\text{Tc}$ -ЦФ, суспензию инкубировали в термостате при  $37^{\circ}\text{C}$  в течение 15, 30 и 60 мин. Функциональную пригодность РФП исследовали на моделях абсцесса бедра у крыс, после внутривенного введения индикатора в дозе 5,3МБк/кг. Запись сцинтиграфических изображений выполняли через 1 ч и 18ч после инъекции на гамма камере «Phillips Forte» [1].

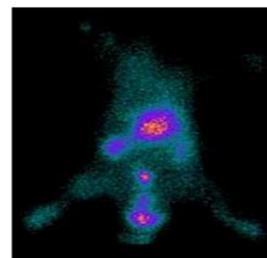
**Результаты.** По данным нашего исследования, введение в структуру ципрофлоксацина молекулы  $^{99m}\text{Tc}$  не влияет на его бактерицидные свойства. Разрабатываемый РФП взаимодействует с микроорганизмами за счет его связывания с ферментом ДНК-гиразой. Меченный  $^{99m}\text{Tc}$  антибиотик в одинаковом количестве накапливается в живой, убитой и резистентной культурах стафилококка, а свободная изотопная метка  $^{99m}\text{Tc}$  ( $\text{Na}^{99m}\text{TcO}$ ) не обладает тропностью к бактериям *St. Aureus*. В эксперименте *in vivo* очаг воспаления визуализировался у всех крыс через 1 ч после введения РФП. Коэффициент очаг/здоровая ткань составил  $1,61 \pm 0,15$ . Через 18 ч после введения аккумуляция РФП сохранилась, коэффициент очаг/здоровая ткань составил  $1,52 \pm 0,13$ . Таким образом, визуализация очага инфекционного воспаления при помощи данного РФП возможна и через 1 и через 18 ч после инъекции РФП.



Модель стафилококкового абсцесса



Модель инфекционного артрита



Модель асептического воспаления

Рисунок 1. Сцинтиграммы тела крыс через 1 ч после введения  $^{99m}\text{Tc}$ -ципрофлоксацина

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонова С.И., Карпова М.Р., Ильюшенкова Ю.Н., Варламова Н.В., Лишманов Ю.Б. Исследование механизмов взаимодействия радиофармпрепарата на основе ципрофлоксацина, меченного технецием-99m с культурами *Staphylococcus Aureus* // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2014. – Т.157, № 6. – С.700-703.
2. Lishmanov Yu., Sazonova S., Sokolovich Ye., Chernov V. The comparison of intravenous and lymphotropic routes of  $^{99m}\text{Tc}$  ciprofloxacin in experimental pulmonary suppuration // Health. – 2011. – Vol. 3, № 11. – P. 663-667.

#### ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ НАА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В НАНОПОРОШКЕ АЛЮМИНИЯ И ПРОДУКТАХ ЕГО СГОРАНИЯ

Д.В. Кабанов, А.П. Ильин, В.Г. Меркулов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [kabanovdv@tpu.ru](mailto:kabanovdv@tpu.ru)

С развитием нанотехнологий возрастает актуальность исследования данных систем, вследствие их сертификации. Особые значения приобретают данные о примесном составе, которые оказывают существенное влияние на свойства наносистем в процессе их окисления, горения, катализа, спекания и т.п., а также свойства материалов на их основе.

В связи с этим целью данной работы являлось исследование поведения примесных элементов как в электровзрывном нанопорошке алюминия, так и в процессе его сгорания в воздухе в условиях действия электрических и магнитных полей методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), обеспечивающего необходимые пределы обнаружения. Важно также установить вероятные источники загрязнения.

Полученные электровзрывным методом нанопорошки алюминия характеризовались следующими параметрами:  $T_H = 420^{\circ}\text{C}$ ;  $v_{ок} = 0,19$  мг/с;  $\alpha = 33,7$  % при  $800^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta H/\Delta m = 4,2$  кДж/г. Процесс сжигания осуществляли в алундовых тиглях на воздухе, а также при наложении электрического и магнитного полей. Последнее обусловлено тем, что при наложении полей имеет место структурирование образующихся нитридов алюминия, при котором вероятен процесс удаления примесей из образующихся упорядоченных структур, приводящей к очистке целевых продуктов.

Определение примесных элементов проводили инструментальным НАА-методом, после сушки до постоянного веса. Аликвотные части ( $m=150$ мг) исходных и конечных продуктов облучали совместно с эталонами в кварцевых ампулах в потоке тепловых нейтронов  $5 \cdot 10^{13}$  нейтр/см<sup>2</sup> сек.

Полученные результаты о содержании около двадцати элементов однозначно свидетельствуют о том, что в продуктах сгорания концентрации примесей закономерно снижаются по сравнению с исходным нанопорошком алюминия, вследствие возрастания общей массы (образование оксидов и нитридов). В тоже время в пределах статистической ошибки не выявлено эффекта дополнительной очистки нитридных фракций под действием электрических и магнитных полей, что может быть обусловлено поступлением дополнительных загрязнений с диффундирующим в массу порошка атмосферным воздухом. Статистически значимое снижение концентрации цинка может быть связано не только со структуризацией под воздействием прилагаемых полей, но и с более эффективным образованием и последующей возгонкой его оксида при высоких температурах ( $2200^0 - 2400^0\text{C}$ ). Для обнаружения эффекта дополнительной очистки нитридной фракций следует проводить очистку воздуха в электровзрывных камерах с помощью аэрозольных фильтров. Необходимо также предотвращать возможность поступления примесей на стадиях получения исходного нанопорошка и в процессе сжигания.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕ ВЧФ-РАЗРЯДА

А.А. Каренгин, А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: karenginaa@tpu.ru

Основой технологии переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) радиохимических заводов является ПУРЕКС-процесс, в котором экстракцию плутония и урана из водно-хвостовых растворов (рафинатов) осуществляют трибутилфосфатом (ТБФ) с использованием различных разбавителей (керосин, гексахлорбутadiен и др.), которые с течением времени теряют свою эффективность и превращаются в горючие отходы переработки ОЯТ (ГОП ОЯТ) [1].

Оставшиеся после первого экстракционного цикла без урана и плутония слабоконцентрированные отходы переработки ОЯТ (ОП ОЯТ) имеют следующий модельный состав [2]:  $\text{HNO}_3 - 18,0 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} - 81,43 \%$ ,  $\text{Fe} - 0,07 \%$ ,  $\text{Mo} - 0,1 \%$ ,  $\text{Nd} - 0,11 \%$ ,  $\text{Y} - 0,06 \%$ ,  $\text{Zr} - 0,058 \%$ ,  $\text{Na} - 0,04 \%$ ,  $\text{Ce} - 0,039 \%$ ,  $\text{Cs} - 0,036 \%$ ,  $\text{Co} - 0,031 \%$ ,  $\text{Sr} - 0,026 \%$ . По действующей технологии ОП ОЯТ выпаривают, добавляют химические реагенты (силикаты, фосфаты, бораты и др.), остекловывают и направляют на захоронение [3]. Эта технология многостадийна, требует химических реагентов, значительных энерго- и трудозатрат.

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при совместной плазменной утилизации ОП ОЯТ и ГОП ОЯТ в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-органических композиций (ВОК) [4].

С использованием оригинальной математической модели установлены закономерности влияния начальных параметров воздушного плазменного потока (температура, скорость) и капель (размер, скорость), массового отношения жидкой и газовой фаз на скорость испарения капель, диспергированных ВОК на основе ОП ОЯТ И ГОП ОЯТ в воздушном плазменном потоке. Определены оптимальные по составу горючие водно-органические композиции, имеющие адиабатическую температуру горения свыше  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ , и обеспечивающие их энергоэффективную переработку. Показано, что при этих условиях лимитирующей стадией всего процесса переработки таких композиций является испарение растворителя (воды).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скачек М. А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.
2. Пантелеев Ю. А., Александрук А.М., Никитина С.А., Макарова Т.П., Петров Е.Р., Богородицкий А. Б., Григорьева М.Г. Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов. – Л.: Труды Радиового института им. В. Г. Хлопина, 2007. – Т. XII. – С. 124-147.
3. Никифоров А. С., Кулиниченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
4. A.G. Karengin, A.A. Karengin, I.Yu. Novoselov, N.V. Tundeshev, Calculation and Optimization of Plasma Utilization Process of Inflammable Wastes after Spent Nuclear Fuel Recycling, Advanced Materials Research, Volume 1040 (2014) 433-436.

### РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ГЛАДКОМЫШЕЧНЫХ СЕГМЕНТОВ СОСУДОВ И ВОЗДУХОНОСНЫХ ПУТЕЙ ЖИВОТНЫХ, ПОДВЕРГШИХСЯ ОБЛУЧЕНИЮ

Н.И. Карпович, Н.Д. Тургунова

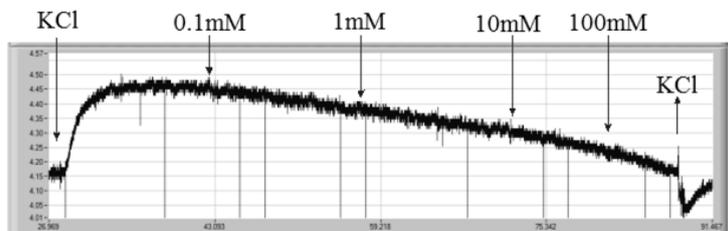
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: karpovitchnatalia88@mail.ru

В настоящее время активно исследуются фундаментальные механизмы регуляции сократительной активности гладких мышц сосудов и воздухоносных путей, апробируются многочисленные субстанции на моделях экспериментальных животных с целью поиска новых лекарственных средств коррекции патологических состояний. Исследования сократительной активности гладких мышц в медико-биологическом эксперименте не мыслимы без применения высокоточных и доступных датчиков силы, способных уловить малые механические напряжения кусочков бронхов и сосудов малого диаметра и незначительной толщины. В связи с этим актуальной задачей представляется разработка отечественного программно-аппаратного комплекса для медико-биологического эксперимента.

Для проведения эксперимента были приготовлены кольцевые сегменты шириной 1,5-2 мм; диаметром – 1-1,5 мм. Перед началом исследования сегменты тестировали воздействием гиперкалиевого раствора Кребса (40 мМ). Величины сократительных ответов на тестирующие растворы оценивали в процентах от амплитуды контрольного сокращения. Увеличение наружной концентрации хлорида калия ведет к деполяризации мембраны гладкомышечных клеток, открыванию потенциал-зависимых кальциевых каналов, увеличению содержания внутриклеточного кальция, что в последующем приводит к сокращению гладких мышц бронха.



*Рисунок 1. Влияние L цистеина на механическое напряжение сегментов бронха морской свинки*

На фоне предсокращения, вызванного KCl, добавление 100мкМ-100мМ L-цистеина оказывало релаксирующее действие на всем диапазоне концентраций. В ответ на добавление 100мкМ, 1000мкМ, 10мМ и 100мМ L цистеина наблюдалось снижение механического напряжения сегментов рис.1.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vane J.R. The Croonian Lecture. The endothelium: maestro of the blood circulation// Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. – 1994– v.343– p. 225– 246.
2. Dora K.A., Doyle M.P., Duling B.R. Elevation of intracellular calcium in smooth muscle causes endothelial cell generation of NO in arterioles// Proc Natl Acad Sci U S A. – 1997– v.94 – p.6529– 6534.
3. Gaynullina D., Lubomirov L.T., Sofronova S.I., Kalenchuk V.U. Functional remodeling of arterial endothelium during early postnatal development in rats// Cardiovasc Res. – 2013 – v.99– p.612– 621.

#### ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.К. Колядко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kdani713@gmail.com

Применяемые для производства термоэмиссионных катодов материалы должны обладать рядом специфических свойств. Кроме термоэмиссионных характеристик – высокой плотности тока и низкой работы выхода электронов – материал должен обладать низким удельным электросопротивлением, термостойкостью, низкой скоростью испарения при рабочих температурах (не более  $10^{-8}$  г/см<sup>2</sup>с при 1700°C) [1,2].

Одним из перспективных катодных материалов является гексаборид лантана, но свойства, перечисленные выше реализовать в традиционно применяемом однофазном LaB<sub>6</sub> затруднительно. В особенности это касается термомеханических характеристик данного катодного материала, обусловленных низкой подвижностью дислокаций в рабочем температурном диапазоне, препятствующей релаксации термических напряжений, и относительно большими размерами структурных составляющих горячепрессованного поликристаллического гексаборида лантана. Высокая температура спекания, близкая к температуре плавления, не позволяет применять, для получения катодов, методы компактирования без приложения давления, вынуждая использовать методы горячего прессования, электроимпульсного спекания, которые энерго- и ресурсозатратны.

Альтернативный путь – это получение готового изделия (катада) методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). СВС – это процесс перемещения волны химической реакции по смеси реагентов с образованием твердых конечных продуктов, проводимый с целью синтеза веществ.

Проблемой СВС является многостадийность процесса синтеза, вследствие чего в структуре конечного продукта могут образовываться дополнительные фазы. В связи с этим необходимо изучение способов воздействия на реакцию синтеза, чтобы получать необходимый фазовый состав. Одним из методов влияния на процесс СВС и фазовый состав продукта является механическая активация.

Целью работы было изучить влияние механической активации в планетарной шаровой мельнице АГО-2С на фазовый состав материала, используемого для производства катодов. В процессе механоактивации возможно варьировать две величины, влияющие на состояние обрабатываемого материала – это продолжительность активации и частота вращения мельницы. В работе исследовалась зависимость фазового состава от этих двух параметров.

В ходе исследования установлены оптимальные условия механической активации, при которых достигается максимальная глубина превращения исходной шихты в целевой продукт – гексаборид лантана.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашкинази Л.А., Петров В.С. Материалы электронных эмиттеров. – Ч. П.: Моск. гос. ин-т электроники и математики. М., 1997. 69 с.
2. Владимиров Г. Г. Физическая электроника. Термоэлектронная эмиссия. – Ч. I.: С-Пб., 2007. 187 с.

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕАКЦИОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ РАСТВОРЕНИЯ ОЯТ НА КОНСТРУКЦИОННУЮ СТАЛЬ 12X18H10T

А.В. Кондратьев

ФГУП «Горно-химический комбинат», Россия, г. Железногорск, ул. Ленина, д. 53, 662972

e-mail: [kondratev-av@yandex.ru](mailto:kondratev-av@yandex.ru)

Для радиохимической переработки ОЯТ на ФГУП «ГХК» совместно с ведущими отраслевыми научно-исследовательскими институтами ведутся работы по созданию опытно-демонстрационного центра (ОДЦ) по отработке наиболее безопасных инновационных малоотходных технологий переработки ОЯТ. Снижение объемов жидких РАО требует использование нетрадиционных жидких сред на головных операциях растворения ОЯТ.

Использование тетраоксида диазота позволяет при сохранении стехиометрии  $\text{UO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  и  $\text{H}_2\text{O}$  получить готовый к дальнейшей переработке маловодный продукт в виде гексагидрата нитрата уранила  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  [1,2].

В работе приведены результаты оценки возможных коррозионных процессов стали 12X18H10T, применяемой в конструкции оборудования для конверсии ОЯТ в нитраты в среде чистого тетраоксида диазота и его смеси с водой. Также приведено сравнение с коррозионной агрессивностью концентрированной азотной кислоты в аналогичных условиях.

Исследование скорости коррозии проводили в герметичном аппарате объемом 30 мл при температуре  $100 \pm 5^\circ\text{C}$  на глицериновой бане. В рабочую полость аппарата устанавливали два образца стали: один на дно аппарата непосредственно в реакционную смесь, а второй на нержавеющей сетку для исследования коррозии в парогазовой фазе, образующейся при нагревании. Процесс вели в течение 240 часов, через каждые 24 часа образцы взвешивали и заливали свежую порцию реакционной смеси. Результаты испытаний коррозионной стойкости образцов стали 12X18H10T в исследуемых реакционных смесях приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Оценка коррозионной устойчивости стали 12X18H10T в реакционных смесях (мм/год)

N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (чда)	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O = 1:1 (моль)		HNO <sub>3</sub> (12моль/л)	
	Нижний образец	Верхний образец	Нижний образец	Верхний образец
0,0009	0,0550	0,0605	0,5576	0,8977

Из полученных результатов видно, что скорость коррозии стали 12X18H10T в чистом тетраоксиде азота составляет 0,00009 мм/год, а в смеси тетраоксида диазота и воды при мольном соотношении 1:1 –  $0,058 \pm 0,003$  мм/год. Установлено, что устойчивость стали в приведенных смесях в 10 и более раз выше по сравнению с аналогичным процессом в концентрированной азотной кислоте.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобец Л.В., Клавсутъ Г.Н. Взаимодействие оксидов урана с тетраоксидом диазота. // Успехи химии, – 1990 – т.59 – Вып.8 – С. 1251–1266.

2. Кондратьев А.В., Ефремов И.Г., Парецков Е.Н. Исследование процесса конверсии оксидов ОЯТ в нитраты с использованием имитаторов ОЯТ ВВЭР-1000 // В мире научных открытий. Красноярск: Научно-инновационный центр, – 2014. – № 4 (52), – С. 332–344.
3. Герасимов В.В. Коррозия реакторных материалов. – М.: Атомиздат, 1980.

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЕЕ ОБЪЕКТОВ**

Т.Н. Кряжева, И.В. Шаманин, Ю.В. Нестерова, В.В. Зукау

Национальный исследовательский томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [kryazhevavn@tpu.ru](mailto:kryazhevavn@tpu.ru)

Для радиационного контроля и мониторинга окружающей среды и ее объектов используют дозиметрические, радиометрические, радиохимические и жидкосцинтилляционные методы анализа. Эти методы дополняют, а иногда взаимозаменяют друг друга, что в целом позволяет дать полную комплексную оценку состояния объектов окружающей среды для соблюдения требований ФЗ-3 «О радиационной безопасности населения» [1], норм и правил радиационной безопасности [2-4].

Радиометрические и дозиметрические методы позволяют получить достаточно оперативно и достоверно информацию об анализируемых объектах. Радиометрические методы – это методы неразрушающего контроля объектов, обладающие достаточно высокой точностью измерений, но требующие высокую квалификацию от специалистов, вследствие довольно сложной и длительной обработки полученных спектров и грамотной интерпретации результатов измерений. Радиохимические методы – методы концентрирования либо выделения отдельных изотопов с высокой точностью определения, характеризующиеся длительностью проведения анализа и применением дорогостоящих реактивов. Жидкосцинтилляционные методы – экспрессные и высокочувствительные методы анализа как по одному предварительно выделенному радионуклиду, так и по нескольким радионуклидам сразу.

В ФТИ ТПУ с 1 июня 2010 г. входит аккредитованная лаборатория радиационного контроля кафедры технической физики [5], в область аккредитации которой входят не только объекты окружающей среды: территории, вода питьевая и источники питьевого водоснабжения, почва, грунт, донные отложения; но и объекты – продукты жизнедеятельности человека: продукция пищевой, сельскохозяйственной, лесной промышленности, минеральное и органическое сырье, бытовые и производственные отходы и т.д.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Федеральный закон от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» (с изм. от 22.08.2004, 23.07.2008).
2. СП 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009.
3. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010.
4. СанПиН 2.6.1.2800-10. Санитарные правила и нормативы. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. Утв. Постановлением № 171 Гл. гос. врача РФ от 24.12.2010.
5. Аттестат аккредитации ЛРК кафедры ТФ ФТИ ФГАОУ ВО НИ ТПУ в Федеральной службе по аккредитации № RA.RU.21AB27 от 08.04.2015.

## ПОВЫШЕНИЕ СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЯДЕРНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ГЛАУКОМЫ

М.Е. Кузнецова, В.В. Сохорева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mek4@tpu.ru](mailto:mek4@tpu.ru)

Глаукома – это тяжелое заболевание глаз, которое сопровождается повышенным внутриглазным давлением (ВГД). Важную роль в поддержании определенного уровня ВГД играет внутриглазная жидкость (ВГЖ), которая регулирует обмен веществ во внутриглазных структурах. Восстановить отток ВГЖ можно с помощью хирургической операции с внедрением экплантодренажа изготовленной из ядерной трековой мембраны (ТМ). Поверхность мембран и пор в классических ТМ обладают гидрофобными свойствами, т.е. имеют плохую смачиваемость. Для использования ТМ в качестве дренажного устройства необходимо предать поверхности мембраны гидрофильные свойства. В настоящей работе была проведена модификация поверхности ТМ из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) с помощью обработки в плазме объемного самостоятельного разряда и термоиницированной прививки водного раствора акриловой (АК) и полиакриловой (ПАК) кислоты.

Обработка ТМ с помощью плазмы объемного самостоятельного разряда проводилась на импульсном электронном ускорителе ТЭУ – 500 с параметрами: максимальное напряжение на плазме разряда 20-22 кВ. Плотность энергии в разряде  $\sim 6 \cdot 10^{-4}$  Дж/см<sup>2</sup> в импульсе. Частота следования импульсов -  $10^3$  с<sup>-1</sup>[1]. После обработки был измерен краевой угол смачивания поверхности модифицированной мембраны с помощью метода «растекающейся капли» на установке EasyDrop Standard. В результате модификации поверхности ТМ с помощью плазмы объемного самостоятельного разряда и последующем исследовании краевого угла смачивания было выявлено, что краевой угол смачивания поверхности уменьшился на 35 градусов по сравнению с исходной мембраной.

При проведении термоиницированной прививочной полимеризации ПАК водный раствор АК (100 г/л, рН=2) предварительно отчищался от ингибитора на колонке Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, затем переливался в круглодонную колбу, в которую помещались образцы ПЭТФ ТМ. Реакционные системы барботировали аргоном в течение 5 минут и затем колбы помещали в термостат. Полимеризация проводилась при 70 °С в течение 3ч 30 мин. После окончания полимеризации образцы вынимались из колбы, промывались в деионизированной воде, высушивались и затем был измерен краевой угол смачивания поверхности. В результате модификации поверхности ТМ с помощью термоиницированной прививки водного раствора АК и ПАК, и последующем исследовании краевого угла смачивания было выявлено, что краевой угол смачивания поверхности после прививки уменьшился на 46,9 градусов. Так же было установлено, что угол смачивания с прививкой АК на 17 градусов больше, чем с прививкой ПАК.

В ходе исследования зависимости краевого угла смачивания поверхности ТМ после термоиницированной прививки ПАК от температуры полимеризации было выявлено, что чем выше температура полимеризации, тем меньше угол смачивания поверхности ТМ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецова М. Е., Сохорева В. В. Исследование характеристик ядерных трековых мембран для создания дренажной системы в лечении глаукомы [Электронный ресурс] // Перспективы развития фундаментальных

наук: сборник научных трудов XI Международной конференции студентов и молодых ученых, Томск, 22-25  
Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 117-119.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ СПЛАВА ГАЛЛИЯ С ЛИТИЕМ

А.А. Орлов, Д.Г. Видяев, А.Э. Лемякин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [vidyaevdg@tpu.ru](mailto:vidyaevdg@tpu.ru)

Для описания и контроля протекания процесса разделения в обменных колоннах существенное значение имеет вязкость взаимодействующих фаз, так как она определяет скорость течения фаз при их движении через контактные устройства в колонне, через различную арматуру и трубы. Поэтому, при разработке нами нового галламно-обменного метода разделения и очистки щелочных металлов [1], основанного на элементный обмен между двумя несмешивающимися фазами: раствором гидроксида щелочного металла и галламой - сплавом галлия со щелочным металлом, были проведены исследования влияние различных факторов на вязкость галламы.

Данная работа посвящена изучению зависимости динамической вязкости сплава галлия с литием от температуры и концентрации в нем лития. Измерения вязкости проводили с помощью амплитудно-амплитудного варианта низкочастотного вибрационного метода [2], в интервале температур 40–80°C при различной концентрации лития в сплаве (0; 0,6; 0,8; 1,0 моль/л). Ошибка измерений не превышала 1,5 %.

На основании полученных данных установлено, что вязкость галламы лития отличается от вязкости жидкого галлия. С ростом температуры значение вязкости сплава уменьшается и чем выше содержание в сплаве лития, тем в большей степени его вязкость зависит от температуры.

Кроме того, была исследована зависимости вязкости сплава от концентрации в нем лития при постоянной температуре. Показано, что до концентрации 0,6 моль/л вязкость сплава практически линейно растет с увеличением концентрации в нем лития. В дальнейшем, кривые вязкости более круто отклоняются вверх, что связано с началом образования твердой фазы. При концентрациях выше 1,5 моль/л сплав переходит в твердое состояние.

В результате проведенных экспериментов установлено, что в исследованном интервале температур вязкость сплава галлия с литием подчиняется уравнению Френкеля-Эйринга [3], для которого найдены значения энергии активации вязкого течения и предэкспоненциального множителя. Так, при концентрации лития в сплаве с галлием 0,6 моль/л величины энергии активации и предэкспоненциального множителя составили  $1,05 \cdot 10^{-20}$  Дж и  $3,46 \cdot 10^{-4}$  Па·с, соответственно.

Таким образом, показано, что с увеличением содержания лития в сплаве с галлием происходит увеличение вязкости сплава, а с увеличением температуры, наоборот, вязкость сплава уменьшается.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров И.А., Орлов А.А., Видяев Д.Г. Галламно-обменный метод разделения щелочных металлов // Журн. физ. химии. – 2003. – Т.77. – № 5. – С. 939-942.
2. Богословский А.В., Алтунина Л.К. Низкочастотный вибрационный метод исследования несмешивающихся жидкостей и границы их раздела // Межмолекулярные взаимодействия и электродные процессы в растворах. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 55-59.
3. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. – Л.: Наука, 1975. – 592 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВ ФТОРИРОВАНИЯ ОКСИДОВ РЗЭ И СВОЙСТВ ПОЛУЧЕННЫХ ФТОРИДОВ

Ю.Н. Макасеев, В.Л. Софронов, З.С. Иванов, Т.В. Костарева

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,

Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31, 115409

E-mail: [ynmakaseev@yandex.ru](mailto:ynmakaseev@yandex.ru)

Производство высокоэнергетических постоянных магнитов (ВЭПМ) на основе редкоземельных элементов (РЗЭ) является одной из ведущих наукоемких отраслей мировой промышленности. В нашем институте разрабатывается принципиально новая малоотходная фторидная технология получения магнитных материалов на основе РЗЭ и переходных металлов. Она включает следующие основные переделы: фторирование любого вида сырья (оксидов, концентратов металлов, отходов магнитного и других производств) элементарным фтором или другим фторирующим реагентом, кальциетермическое или другое металлотермическое внепечное восстановление фторидов с получением компактных слитков сплавов и лигатур, при необходимости их легирование, изготовление магнитов по методу порошковой металлургии с использованием механического или гидридного измельчения, а также переработку отходов [1].

Гидрометаллургические методы основаны на осаждении фторидов металлов из растворов с помощью фторирующего агента, последующей их сушке и прокатке. Если трифториды РЗЭ получают осаждением из водных растворов солей раствором HF или NH<sub>4</sub>F, то они содержат некоторое количество воды и состав продуктов в значительной мере зависит от условий их осаждения и промывания.

Нами были проведены кинетические исследования процесса фторирования оксидов РЗЭ элементарным фтором. Для этого использовалась установка, позволяющая работать в изотермических условиях как в атмосфере чистого фтора, так и в атмосфере газовой смеси фтор-аргон в диапазоне температур 20–600 °С. При более высокой температуре в атмосфере чистого фтора заметно корродируют никелевые детали установки. Исследование кинетики фторирования оксида неодима проводили в температурном интервале 420–550 °С, так как фторирование оксидов неодима, празеодима с заметной скоростью начинается при температуре 100–150 °С.

Расчет показали, что фторирование Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> элементарным фтором в интервале температур 420–550 °С протекает во внешнекинетической области реагирования. Найденное значение энергии активации соответствует величине (87±7) кДж/моль. Это говорит о том, что скорость реакции определяется температурой процесса. Поэтому, судя по всему, лимитирующей стадией процесса фторирования оксида неодима является распространение реакционной зоны по поверхности зерна.

Кроме того, были проведены исследования по фторированию оксидов неодима и диспрозия другим фторирующим агентом – фторидом аммония, показавшие перспективность данного способа, а полученные фториды были проанализированы на совмещенном ТГ/ДСК/ДТА термоанализаторе Q600.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bujnovskij A.S., Sachkov V.I., Sofronov V.L., Anufrieva A.V. Basic stages of magnet production by fluoride technology // *Advanced Materials Research*. – 2015. – Vol. 1085. – P. 209-213.

## НЕХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ВАРИКОЗА

Е.И. Мартыненко, И.А. Климов, А.А. Денисевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [ahmedek@mail.ru](mailto:ahmedek@mail.ru)

В наше время много людей с малоподвижным образом жизни, у них повышен риск заболеваний сердечно-сосудистой системы. При активном образе жизни оттоку крови от нижних конечностей помогают мышечные помпы[3].

Но при малоподвижном образе этот механизм не может функционировать на 100%, со временем увеличивается просвет вены, истончается ее стенка, образуется венозный застой. Это и есть варикозная болезнь - ею страдают до 89 % женщины до 66 % мужчин из числа жителей развитых стран. [2] Осложнениями варикозной болезни являются:

- кровотечения, вследствие утончения сосудистой стенки, которые могут привести к снижению жизнедеятельности всех органов, особенно головного мозга, вызывая расстройства интеллекта, сознания и рефлекторной деятельности. А также гангрене нижних конечностей;
- тромбозы (тромбоз с воспалением стенки вены и образованием тромба, закрывающего её просвет), тромб образуется из-за замедления тока крови и нарушений в стенке сосуда. [1, 2]

В состоянии покоя ионы по разные стороны мембраны создают относительно стабильную разность потенциалов, называемую потенциалом покоя (от минус 70 до минус 90 мВ). Возбуждение происходит под действием или химического сигнала (так организм сам отдает команду) или электрического импульса (так мы будем заставлять сокращаться мышцу), который приводит к возникновению потенциала действия, мембрана поляризуется, в клетку поступают положительно заряженные ионы (в основном Na). Потенциал покоя -60 мВ скачком изменяется на +30 мВ, так как он изменился, то мышца сократилась. [1, 4]

Наша задача заключается в воздействии током на мембрану нервной клетки, деполяризовать её. Положительно заряженные ионы поступают в данную клетку, увеличивая ее потенциал. Данное возбуждение начнет переходить от клетки к клетке, по нервному волокну, пока не достигнет той нервной клетки, которая передаст возбуждение мышце. [4] Та в свою очередь сократится, тем самым создав искусственную активность мышц, что нужно нам для лечения и предотвращения варикоза.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новицкий В.В., Гольдберг Е.Д., Уразова О.И. Учебник по патофизиологии. – М.: "ГЭОТАР-Медиа", 2010. Т.1-2 – 630 с.
2. Кириенко А. И., Богачев В. Ю., Гаврилов С. Г. Хронические заболевания вен нижних конечностей у работников промышленных предприятий г. Москвы. Результаты эпидемиологического исследования //Ангиол. и сосуд. хир.. - 2004. - Т. 10.- № 1. — С. 77
3. Колесников Л.Л. Анатомия человека . – М.: "ГЭОТАР-Медиа", 2008 - 824 с.
4. Дегтярев В.П., Будылина С.М., Нормальная физиология. – М.: "Медицина", 2006 – 736 с.

## ТЕРМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И ПРИРОДНОГО ЦЕОЛИТА

Т.В. Мельникова, Д.А. Русаков, О.Б. Назаренко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [tatkamel93@mail.ru](mailto:tatkamel93@mail.ru)

Эпоксидные смолы благодаря уникальному комплексу свойств широко используются в радиоэлектронной и электротехнической промышленности, в строительстве, авиа- и ракетостроении в качестве клеев, герметиков, компонента заливочных компаундов, связующих для армированных пластиков. Для улучшения термических характеристик в эпоксидную матрицу вводят различные наполнители [1, 2]. В данной работе представлены результаты исследований влияния природного цеолита в сочетании с борной кислотой на термическую стабильность и механические свойства эпоксидных композитов.

В работе использована эпоксидная смола ЭД-20, отверждение которой проводилось с помощью полиэтиленполиамиона. В качестве наполнителей использованы высокодисперсные порошки природного цеолита Сахатинского месторождения и борной кислоты. Полученные образцы эпоксидных композитов, а также исходные вещества исследованы методами термического анализа (SDT Q600), ИК-Фурье спектроскопии (Nicolet 5700), проведены механические испытания (GOTECH AI-7000M).

Борная кислота используется как замедлитель горения изделий из целлюлозы и с успехом может применяться для снижения горючести эпоксидных полимеров [2, 3]. Наличие адсорбированной воды в полостях и порах каркасной структуры природных цеолитов, которая высвобождается при нагревании, особенности их минерального состава, также приводит к эффекту снижения горючести наполненных эпоксидных полимеров. При нагреве наполненного полимера до 300 °С происходит эндотермическая реакция выделения воды, при этом понижается температура полимерной матрицы и разбавляются горючие газообразные продукты деструкции. При температуре более 300 °С частицы цеолита выполняют барьерную функцию, препятствуя прохождению потока тепла. Результаты механических испытаний на статический изгиб показали, что улучшение физико-механических свойств эпоксидных композитов наблюдается при повышении концентрации наполнителей до 10 %.

Использование природного цеолита в сочетании с борной кислотой в качестве наполнителей эпоксидных полимеров привело к заметному улучшению термической стабильности, а также физико-механических характеристик композиционных материалов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров. – М.: Химия, 1989. – 192 с.
2. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. – М.: Химия, 1980. – 274 с.
3. Амелькович Ю.А., Назаренко О.Б., Мельникова Т.В. Оценка влияния наполнителя на термическую стабильность эпоксидных композитов // Контроль. Диагностика. – 2014. – № 13. – С. 46–50.

## ПЛАЗМЕННОЕ ОКИСЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.А. Хан, В.Ф. Мышкин, И.А. Ушаков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: gos100@tpu.ru

Известно, что все физико-химические процессы селективны по изотопам, а магнитное поле может значительно изменить относительную химическую активность изотопов в зависимости от спина ядра. При этом, при столкновении радикалов в магнитном поле возможны 4 комбинации ориентации спинов валентных электронов. Принято считать, что доля синглетного (реакционноспособного) состояния составляет 25% [1]. Это связано с неразличимостью энергий спинов направлений  $+1/2$  или  $-1/2$  с разными фазами прецессии, например в опытах Герлаха и Штерна. Принцип неопределенности для проекций спина  $S_x$  и  $S_y$  записывается в виде  $\Delta S_x \Delta S_y \geq \hbar / 2 |\langle S_z \rangle|$ . При  $\langle S_z \rangle = \hbar / 2$  с дисперсией  $\Delta S_z = 0$  получаем  $\Delta S_x \Delta S_y \geq (\hbar / 2)^2$ . При одинаковой дисперсии проекций спина (на оси OX и OY)  $\Delta S_y \approx \Delta S_x = \hbar / 2$ , что с учетом величины спина  $|S| = \sqrt{3} / 2 \hbar$  (а поэтому  $S_x = \sqrt{2} / 2 \hbar$ ) вызывает ошибку в определении фазы прецессии спина  $\Delta \varphi \approx 30^\circ$  в магнитном поле. Поэтому можно выделить  $n = 2\pi / \Delta \varphi \approx 12$  дискретных значений фазы прецессии спина валентного электрона радикала, реализующихся при различных физико-химических процессах как «дискретные» состояния.

С учетом дискретности фазы прецессии спина одного из радикалов, можно регистрировать  $n$  синглетных состояний  $S$  при их столкновении со вторым радикалом с осесимметричным направлением спина. Триплетные состояния могут быть реализованы:  $T_0 - n(n-1)$ ;  $T_1$  и  $T_{+1} - n^2$  способами. Доля синглетных состояний, из всего возможного набора, составляет  $1/3n = 2,7\%$  а не 25%. С учетом частоты столкновений частиц в единице объема газа выражение для частоты формирования синглетного состояния при столкновении радикалов во внешнем постоянном магнитном поле

$$v_s = \frac{1}{36} \frac{\sqrt{2}}{2} \bar{v} \sigma [R1][R2], \text{ синглет/см}^3 \quad (1)$$

где  $R1, R2$  – концентрации радикалов двух типов,  $\bar{v}$  – средняя относительная скорость теплового движения,  $\sigma$  – эффективное сечение столкновения радикалов двух типов.

Уравнение химической реакции также пропорционально произведению реагентов

$$\frac{d[R1]}{dt} = v_s = k [R1][R2]. \quad (2)$$

Из сопоставления выражений (1) и (2) видно, что const химической реакции можно записать в виде  $k = (\sqrt{2} : 72) \bar{v} \sigma$ . Полученная формула для const не учитывает релаксацию избыточной энергии продуктов реакции, и соответственно вероятности их развала. Для оценки константы скорости окисления углерода в низкотемпературной плазме примем относительную скорость при 1500C  $\bar{v} \approx 3 \cdot 10^5$  см/с, а эффективное сечение столкновения  $\sigma \approx 5 \cdot 10^{-15}$  см<sup>2</sup>. В результате получаем оценку  $k \approx 3 \cdot 10^{-11}$  см<sup>6</sup>/с. Эта величина близка к экспериментальному значению ( $5 \cdot 10^{-11}$  см<sup>6</sup>/с), приведенному в базе NIST для окисления углерода.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мышкин В. Ф., Ижойкин Д. А., Ушаков И. А., Хан В. А. Моделирование изотопных эффектов в плазменных процессах, протекающих в магнитном поле // Известия вузов. Физика. - 2012 - Т. 55 - №. 11/2 - С. 348-352.

## КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ СРВ-1В

А.И. Наумик, А.А. Веригин

Товарищество с ограниченной ответственностью «ТехноАналит»,  
Республика Казахстан, г.Усть-Каменогорск, ул. Крылова, 85, 070004  
E-mail: alexnaumik@gmail.com

В настоящее время одним из основных и перспективных способов добычи урана является подземное выщелачивание горной породы кислотой без предварительного обогащения. Для качественной и количественной оценки добычи урана, переработки продуктивных растворов подземного скважинного выщелачивания и выпуска продукции в виде урансодержащего товарного десорбата необходимо контролировать содержание урана и примесей, таких как железо, кальций, магний, в продуктивных, выщелачивающих растворах и маточников сорбции урана, растворов после прокачки наблюдательных скважин, а также в ионообменных смолах: насыщенной смоле, смоле после десорбции и денитрации.

Традиционные методы анализа данных объектов требуют высокой квалификации исполнителей, значительных затрат времени и имеют высокую себестоимость. В большинстве случаев в аналитических лабораториях применяют физико-химические и химические методы анализа. Общими недостатками этих методов являются их длительность, трудоемкость и значительная себестоимость и высокие требования к квалификации исполнителей.

Свободным от вышеперечисленных недостатков является энергодисперсионный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ.

Нами были исследованы возможности прямого определения урана в технологических растворах на рентгеновском спектрометре СРВ-1В (ТОО «ТехноАналит», Республика Казахстан).

Для решения поставленной задачи была выбрана трех осевая геометрия измерения, с использованием молибденовой вторичной мишени. В качестве источника первичного излучения была использована рентгеновская трубка с серебряным анодом. Режим работы рентгеновской трубки - напряжение 45 кВ, ток 400 мкА. Для регистрации характеристического излучения применен кремниевый дрейфовый детектор (SDD) с энергетическим разрешением 149 эВ. Расчет массовой доли проводится в автоматическом режиме по уравнению связи с коэффициентами, рассчитанными методом множественной регрессии, входящим в состав аналитического программного обеспечения аналитического комплекса [1].

При данных условиях порог обнаружения урана составил 1.2 мг/л при времени экспозиции 300 с. Для больших содержаний возможно снижение экспозиции до 60 с.

Таким образом, результаты данной работы показывают возможность применения спектрометра СРВ-1В для решения аналитических задач контроля технологических процессов уранового производства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьминых В.А., Веригин А.А., Наумик А.И. Программное обеспечение для проведения рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометрах с энергетической дисперсией // Вычислительные технологии. Совместный выпуск по материалам Междунар. конф «Вычислительные информац. технологии в науке, технике и образовании». – Новосибирск-Алматы-Усть-Каменогорск, 2003. –Т.8, – С. 132-136.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В.Г. Бутов, С.Н. Тимченко, А.А.Никлюдов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [timsn@tpu.ru](mailto:timsn@tpu.ru)

Работа посвящена определению основных параметров работы единичной газовой центрифуги, которая служит для разделения бинарных смесей изотопов с помощью нейронных сетей. Процессы, протекающие внутри центрифуги, носят нелинейный характер, и выявить связь между входными данными и основными параметрами газовой центрифуги не всегда возможно или затруднительно[1]. Известно, что нейронные сети позволяют эффективно выявлять подобные закономерности[2], поэтому для моделирования газовой центрифуги они представляют несомненный интерес. В данной работе построена нейронная сеть позволяющая, определять основные гидравлические и разделительные характеристики газовой центрифуги в зависимости от геометрических размеров газовой центрифуги, величины загрузки и скорости вращения ротора.

Для моделирования процессов, протекающих внутри газовой центрифуги, была использована многослойная нейронная сеть с последовательными связями (с тремя слоями: входной, скрытый и выходной).

Для обучения трехслойной нейронной сети был использован алгоритм обратного распространения. Данные для обучения были полученные из экспериментально определяемых гидравлических и разделительных характеристик различных газовых центрифуг[3-5]. С их помощью было получено 2500 наборов данных путем изменения геометрических параметров и скорости вращения ротора газовой центрифуги, а также изменения величины потока питания и давлений в трассах отбора и отвала. Полученные данные были разделены на две группы: 2000 наборов для процесса обучения нейронной сети, 500 наборов для проверки степени обучения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисевич В. Д., Борман В. Д., Сулаберидзе Г. А., Тихомиров А. В., Токманцев В. И. Физические основы разделения изотопов в газовой центрифуге: учебное пособие для вузов.. – М.: МЭИ, 2011. – 275 с.
2. Migliavaca S.C.P., Nascimento C.A.O. and Rodrigues C. Analisis and optimization of gas-centrifugal separation of uranium isotopes by neural networks // Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2002
3. Glaser, A. (2008) Characteristics of the gas centrifuge for uranium enrichment and their relevance for nuclear weapon proliferation. Sci. Glob. Security, 16 (1–2): 1–26.
4. Van Namen, R. (2010) Enrichment market overview, Talk presented at the World Nuclear University Summer Institute, Christ Church, Oxford UK, July 12.
5. Harding, P. (2012) Revolution in enrichment. Presentation to the European Nuclear Conference, Manchester, UK, December 11.

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ КИСЛОТНОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОКСИДНЫХ СТРУКТУР ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

В. П. Нестеренко, Ю. Ю. Пчелинцева, К. П. Арефьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [nest2004@bk.ru](mailto:nest2004@bk.ru)

Величина износостойкости режущих инструментов, а также её разброс в значительной степени зависит от свойств, формируемых, на их контактных поверхностях оксидных пленочных структур. Тонкие оксидные

пленки, образующиеся на контактных поверхностях режущего клина, оказывают большое влияние на рабочие характеристики режущих инструментов – износостойкость, прочность, надежность. Они снижают интенсивность диффузионных процессов в зонах контакта и экранируют твердофазные реакции с обрабатываемым материалом. Было установлено, что на интенсивность твердофазного химического взаимодействия поверхностей, инструментального и обрабатываемого материалов большое влияние, оказывают кислотно – основные характеристики оксидных структур, формирующихся в зонах их контакта. При уменьшении степени кислотности оксидных структур, износостойкость режущих инструментов при обработке ими материалов, вызывающих интенсивный диффузионный износ, приобретает тенденцию к росту. К обрабатываемым материалам, вызывающим ускоренное диффузионное разрушение режущего клина, относятся углеродистые, а также различные легированные углеродистые стали. Данная группа сталей подвергается обработке, как правило, твердосплавными режущими инструментами группы применяемости – Р [1]. Большое влияние на формирование степени кислотности поверхности у оксидных структур оказывает наличие в составе твердых сплавов примесей углерода и водорода. Углерод в составе твердосплавной композиции может находиться в связанном и свободном состоянии. Водород накапливается в структуре твердого сплава при его спекании в водородосодержащей среде. При нагревании твердых сплавов образующиеся оксиды углерода и водорода оказывают влияние на степень кислотности образующихся оксидов [2]. Предварительное радиационное модифицирование поверхности твердых сплавов за счет облучения их электронными или ионными пучками приводит при последующем высокотемпературном нагревании к изменению электронной плотности в области активных центров, формирующихся оксидов и, соответственно, к изменению их кислотности. Вместе с тем, это не приводит к существенному изменению их износостойкости. С одной стороны, это можно связать с тем, что одновременно с изменением степени кислотности в кристаллическую решетку карбидов вносится значительная концентрация дефектов, снижающая их механические характеристики. С другой стороны, при низких дозах облучения не достигается изменения у оксидов достаточной степени кислотности. Можно считать, что общая износостойкость твердосплавных режущих инструментов группы применяемости Р, при обработке материалов, вызывающих интенсивный диффузионный износ, зависит, как от физико – химических характеристик компонентов твердосплавной композиции, так и от свойств диссипативных пленочных структур, формирующихся на рабочих поверхностях в зонах контакта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 3882 – 74 (с дополнениями).
2. Мещеряков Е. П., Рудакова А. В., Огнева Т. П., Минакова Т. С. Кислотно-основные свойства поверхности фторидов щелочноземельных металлов и магния // ЖПХ. 1995. Т. 68. №. 6. С. 908-913.

#### СВЯЗЬ МЕЖДУ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОКСИДНЫХ СТРУКТУР ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ И ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ

В. П. Нестеренко, К. П. Арефьев, В. И. Меркулов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [nest2004@bk.ru](mailto:nest2004@bk.ru)

Величина износостойкости режущих инструментов, а также её разброс в значительной степени зависит от свойств, формируемых, на их контактных поверхностях оксидных пленочных структур. Тонкие оксидные пленки, образующиеся на контактных поверхностях режущего клина, оказывают большое влияние на рабочие

характеристики режущих инструментов – износостойкость, прочность, надежность. Они снижают интенсивность адгезионных процессов в зонах контакта и выполняют, роль твердой смазки. Было установлено, что на интенсивность адгезионного межмолекулярного взаимодействия поверхностей, инструментального и обрабатываемого материалов большое влияние, оказывают диэлектрические характеристики оксидных структур, формирующихся в зонах их контакта. При уменьшении, например, величины относительной диэлектрической проницаемости оксидных структур, износостойкость режущих инструментов при обработке ими материалов, вызывающих интенсивный адгезионный износ, приобретает тенденцию к росту. Одновременно с повышением износостойкости при снижении степени кислотности поверхностной оксидной структуры, формируемой на контактных поверхностях режущих инструментов, также, происходит и снижение коэффициента вариации данной рабочей характеристики. К обрабатываемым материалам, вызывающим ускоренное адгезионное разрушение режущего клина, относятся стали аустенитного, аустенитно - ферритного и аустенитно - мартенситного классов. Данный класс сталей подвергается обработке, как правило, твердосплавными режущими инструментами группы применяемости – К [1]. Большое влияние на формирование величины относительной диэлектрической проницаемости у поверхностных оксидных структур оказывает наличие в составе твердых сплавов различных примесей и, в том числе водорода. Как правило, водород накапливается в структуре твердого сплава при его спекании в водородосодержащей среде. При нагревании твердых сплавов, а также при их эксплуатации водород структуры, взаимодействует с образующимися в зонах контакта оксидными пленочными соединениями, препятствует формированию высших оксидов, приводит к снижению их относительной диэлектрической проницаемости, к увеличению тангенса угла диэлектрических потерь, электропроводности и теплопроводности. Рост теплопроводности в свою очередь снижает вероятность формирования оксидных соединений с кристаллической решеткой, имеющей значительное число плоскостей легкого скольжения. Это в свою очередь приводит к снижению трибологических качеств межконтактных оксидных образований и к снижению, соответственно износостойкости режущих инструментов. Предварительное радиационное облучение твердых сплавов гамма-квантами источника кобальт-60 способствует выходу из структуры твердого сплава и обеспечивает некоторое повышение износостойкости твердосплавных режущих инструментов [2]. При этом величина относительной диэлектрической проницаемости оксидных образований также снижается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 3882 – 74 (с дополнениями).
2. Тюрин Ю. И. Химвозбуждение поверхности твердых тел. Томск, ТГУ, 2001. – 622 с.

#### РЕЦИКЛИНГ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГЕНЕРАТОРОВ ТЕХНЕЦИЯ-99М ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

Е.А. Нестеров, Е.А. Ильина, Л.А. Ларионова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [nea@tpu.ru](mailto:nea@tpu.ru)

Мировое производство сорбционных генераторов технеция-99м основано на использовании молибдена-99, выделяемого из продуктов деления урана-235, а также при нейтронной активации обогащенных мишеней молибдена-98. Более 90% Mo-99 для генераторов технеция-99м производится при делении высокообогащенного урана на 5 ядерных реакторах (NRU в Чок-Ривер, Канада, HFR в Петтене, Нидерланды,

BR-2 на Флёрюсе, Бельгия, OSIRIS в Сакле, Франция и SAFARI-1 на Пелиндабе в Южной Африке) [1]. При делении урана-235, помимо Мо-99, образуется более 20 долгоживущих радионуклидов с периодами полураспада от 0,1 до 60 дней и с массовыми числами от 72 до 161, в т.ч. образуются и  $\alpha$ -излучающие изотопы трансурановых элементов (например,  $^{239}\text{Pu}$ ). Все это требует проведения тщательной очистки целевого радионуклида от продуктов деления с последующей их утилизацией.

Альтернативой урановому является производство молибдена-99 на исследовательских среднепоточных реакторах, имеющихся в разных странах, основанного на использовании реакции радиационного захвата ( $n, \gamma$ ). Такие технологии были реализованы и организовано производство генераторов технеция-99м на реакторах ВВР-СМ в Ташкенте, Узбекистан [2] и на реакторе ИРТ-Т в Томске, Россия. Нарбатываемый Мо-99 имеет низкую удельную активность, что приводит к необходимости адсорбции на колонку генератора большой массы дорогостоящего молибдена (порядка 200 мг против 5 мг из «осколочного»  $^{99}\text{Mo}$  по урановой технологии). Для повышения рентабельности производства генераторов технеция-99м, снижения себестоимости и экологической нагрузки на окружающую среду была разработана технология регенерации молибдена из жидких и твердых радиоактивных отходов производства. Одновременно с этим решается вопрос с утилизацией генераторных колонок медицинскими учреждениями и задача создания рециклического экологически чистого производства с минимальным количеством радиоактивных отходов. В этой связи, был проведен комплекс исследований, позволивший разработать способы регенерации с эффективностью более 98%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ в лице Минобрнауки России (проект № RFMEFI57514X0034).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Non-HEU Production Technologies for Molybdenum-99 and Technetium-99m // IAEA Nuclear Energy Series 2013. No. NF-T-5.4.
2. U. Salikhbaev, S. Khujayev, S. Baytelesov, F. Kungurov, A. Boltabaev, Possibility of Production of Molybdenum-99 Using Neutron Activation at the WWR-SM Research Reactor with LEU Fuel. [http://www.rertr.anl.gov/RERTR33/pdfs/S12-P9\\_Salikhbaev.pdf](http://www.rertr.anl.gov/RERTR33/pdfs/S12-P9_Salikhbaev.pdf)
3. Ryabchikov A.I., Skuridin V.S., Nesterov E.A., Chibisov E.V., Golovkov V.M.. Obtaining Molybdenum-99 in Research Reactor IR-T With Using Resonance Neutrons // Nuclear Instruments and Methods in Phys. Res., 2004, В 213, p. 364-368.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА, ГОРЯЩЕГО В ЗАПЫЛЁННЫХ СРЕДАХ

Ю.Ю. Луценко, Д.В. Орехов, А.Д. Побережников

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mjkrasdim@mail.ru](mailto:mjkrasdim@mail.ru)

Высокочастотный факельный разряд является перспективным источником плазмы для проведения различных [1] технологических процессов. Проведение процессов по плазменной переработке веществ целесообразно проводить не в плазменной струе, а непосредственно в разрядной зоне. В этом случае эффективность процесса плазменной переработки вещества возрастает. При введении вещества в разряд его характеристики меняются. Соответственно изменяются его комплексное сопротивление и коэффициент преобразования электромагнитной энергии в тепловую энергию.

В настоящей работе проведено определение комплексного сопротивления факельного разряда, запылённого проводящими и диэлектрическими материалами. Исследуемый разряд возбуждался в воздухе при атмосферном давлении на частоте 37,5 МГц. Мощность разряда варьировалась от 0,5 до 3 кВт. Дисперсность порошка запыляющего разряд материала составляла 30...60 мкм. Измерения комплексного сопротивления разряда проводились резонансным методом. Схема измерительной цепи была аналогична схеме, используемой в работе [2]. На основе полученных экспериментальных результатов проведён расчёт фазового сдвига между разрядным током и напряжением на высоковольтном электроде. Определение комплексного сопротивления факельного разряда и косинуса фазового сдвига между током, протекающим в разряде и напряжением на электроде, проводилось при различных степенях запылённости разряда.

В результате проведённых измерений было установлено, что при запылении разряда проводящим материалом его активное сопротивление возрастает на 15...20%. Ёмкость разряда меняется незначительно как в случае запыления разряда проводящим материалом, так и в случае запыления разряда диэлектриком. Величина косинуса фазового сдвига между током, протекающим в разряде и напряжением на электроде, при запылении разряда проводящим материалом составляет 0,7...0,8. С увеличением мощности разряда величина его активного сопротивления возрастает. Этот эффект наиболее выражен в случае запыления разряда проводящим материалом. Были проведены измерения комплексного сопротивления и косинуса фазового сдвига между током и напряжением для факельного разряда мощностью 1 кВт при различных степенях его запылённости. Установлено, что наибольший косинус фазового сдвига между током и напряжением разряда реализуется при степени его запыления  $6 \cdot 10^{-6}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каренгин А.Г. Плазмокаталитический реактор для утилизации нефтяных отходов // Известия вузов. Физика - 2004. -т. 47 -№ 12 (Приложение) -с. 52-55.
2. Talský A. Определение комплексного сопротивления высокочастотного факельного разряда. // Czech. J. Phys. – 1964. - Bd.14, №8. – p. 594-598.

#### ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Ю.В. Островский, В.Г. Глушков**

НФ ОАО «ГСПИ» - Новосибирский «ВНИПИЭТ»

Россия, г. Новосибирск, ул. Б. Хмельницкого, 2

E-mail: [ost@vni Piet-nsk.ru](mailto:ost@vni Piet-nsk.ru)

Научно-исследовательская лаборатория в НФ ОАО «ГСПИ» создана в 1978г. и специализируется на решении технологических и природоохранных задач, стоящих перед предприятиями ГК «Росатом». Основные направления деятельности:

- очистка производственных сточных вод (в т.ч. высокоминерализованных) от примесей тяжёлых, цветных и радиоактивных металлов;
- сорбционное извлечение редких и радиоактивных металлов на неорганических сорбентах из «засолённых» водных систем;
- денитрация аммиачных маточников;
- малоотходная технология азотнокислотного аффинажа урана;
- комплексная очистка высокотемпературных газовых выбросов от полидисперсных твёрдых и газообразных включений;

- очистка дымовых газов печей прокаливания концентратов урана;
- высокоэффективные аппараты «мокрой» и каталитической очистки газов;
- каталитическое обезвреживание технологических и вентиляционных газов от примесей водорода, аммиака и паров органических веществ;
- адсорбционная очистка газов от паров органических и хлорорганических веществ;
- пламенное обезвреживание жидких органических радиоактивных отходов;
- переработка твёрдых органических отходов в расплавах солей и щелочей;
- деминерализация водных систем в смешанном слое ионитов;
- реабилитация территорий, природных и техногенных водоёмов с использованием углеуминовых препаратов;
- иммобилизация ртути в жидких и твёрдых производственных отходах.

Степень проработанности – от лабораторных установок до промышленных образцов. Многие из этих технологических разработок и аппаратного оформления могут быть адаптированы к снижению техногенного воздействия на окружающую среду предприятий отрасли, а также предприятий смежных отраслей промышленности.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ С ПОМОЩЬЮ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С РАСХОДЯЩИМЯ ПУЧКОМ РЕНГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Ф.А. Пак, А.Д. Южаков, С.Г. Стучебров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: pak\_fedor@mail.ru

В Томском политехническом университете на базе многоканального газоразрядного детектора ПРИЗ-1536 [1] была создана установка для томографической визуализации. Установка позволяет получать проекционные снимки и томографические изображения с субмиллиметровым пространственным разрешением [2,3]. Однако использовавшийся источник рентгеновского излучения РАП-160-5 не позволял получать изображения крупных объектов в силу низкой интенсивности излучения. Целью работы была модернизация имеющейся томографической установки путем замены источника рентгеновского излучения с большей мощностью. Это необходимо для изучения объектов с размерами характерными для тела человека.

В качестве нового источника был выбран рентгеновский аппарат МХР-451НР/11 [4]. Выбор в его пользу был сделан по причине того, что он позволяет осуществлять точную настройку характеристик пучка рентгеновского излучения, имеет хорошую стабильность параметров во времени и обеспечивает интенсивность свечения достаточную для поставленных задач.

Замена одного из основных узлов установки потребовала полностью пересмотреть подход к системе позиционирования образцов. Для новой геометрии было необходимо подобрать оптимальные режимы работы установки, такие как скорость перемещения образца, оптимальное количество проекций для получения томограмм, напряжение на аноде трубки, анодный ток и другие.

Прделанная работа позволила получить трехмерные изображения комбинированного ААРМ-фантома, предназначенного для компьютерной томографии. Полученные результаты показывают применимость

модернизированной установки для изучения внутренней структуры объектов с размерами характерными для тела человека.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по эксплуатации: «Многоканальная ионизационная камера для рентгенографической установки сканирующего типа». – Новосибирск: ИЯФ СО РАН, 2006. – 10 с.
2. Стучебров С. Г. , Вагнер А. Р. , Черепенников Ю. М. , Дусаев Р. Р. Цифровая рентгеновская установка на базе сканирующего рентгеновского газоразрядного детектора для изучения внутренней структуры биологических объектов // Известия вузов. Физика. - 2013 - Т. 56 - №. 4/2. - С. 287-291
3. Стучебров С. Г. , Батрагин А. В. , Лукьяненко Е. В. , Синягина М. А. Установки-прототипы для томографической визуализации с субмиллиметровым пространственным разрешением // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 2/2. - С. 78-82
4. MXR-451HP/11 Product Description [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.comet-ray.com/Resources/Products/X-Ray-Tubes/Documents/mxr\\_451hp\\_11\\_en.pdf](http://www.comet-ray.com/Resources/Products/X-Ray-Tubes/Documents/mxr_451hp_11_en.pdf) – 15.05.15.

#### ПЛАЗМЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ СУЛЬФАТНОГО ЛИГНИНА

К.Г. Пиунова, А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30.

[piunova93@mail.ru](mailto:piunova93@mail.ru)

Лигнин как составная часть древесины, образующийся в значительных количествах при переработке древесины, наиболее трудноутилизируемый отход [1]. По данным Международного института лигнина (International Lignin Institute) ежегодно в мире получают около 70 млн. т. технических лигнинов, но используется на промышленные, сельскохозяйственные и другие цели не более 2%. Остальное сжигается в энергетических установках или захоранивается в могильниках [2].

Сульфатный лигнин (СФЛ) образуется на целлюлозных и целлюлозно-бумажных предприятиях при сульфатной варке древесины в количествах 30÷35% от исходного сырья и имеет достаточно постоянный состав [3]: зола 1,0÷2,5%; кислоты в расчете на серную – 0,1–0,3%; водорастворимые соединения – 9÷11%; смолистые соединения 0,3÷0,4%; лигнин Класона – 85%, а также сера, массовое содержание которой составляет 2,0–2,5%, в том числе несвязанной – 0,4÷0,9%. Однако, сжигание СФЛ в качестве котельного топлива в обычных энергетических установках является экологически небезопасным и приводит к образованию различных вредных и токсичных веществ [3].

В данной работе показана возможность и эффективность получения тепловой энергии в процессе плазменной утилизации СФЛ в воздушной плазме в виде оптимальных горючих водно-органических композиций (ВОК), обеспечивающих его энергоэффективную и экологически безопасную переработку.

По результатам проведенных расчётов определена оптимальная горючая ВОК с максимальным содержанием СФЛ (30% СФЛ: 70% Вода), имеющая  $T_{ад} \approx 1200$  °С и теплоту сгорания 6,4 МДж/кг, позволяющую получать при утилизации 1 тонны отходов до 1,8 МВт·ч (1,5 Гкал) тепловой энергии.

Затем были проведены расчёты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной утилизации СФЛ в воздушной плазме в виде оптимальной горючей ВОК. Для расчётов использовалась лицензионная программа TERRA. Расчёты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), в широком диапазоне температур (300÷4000) К и для различных массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (10÷95) %.

С учетом полученных результатов могут быть рекомендованы для практической реализации

исследуемого процесса следующие оптимальные режимы: состав горючей ВОК: (30% СФЛ : 70% Вода); массовое отношение фаз: (66% Воздух : 34% ВОК); интервал рабочих температур ( $1200 \pm 100$ ) °С.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании промышленных установок для плазменной утилизации сульфатных лигнинов, а также других горючих отходов предприятий целлюлозной и целлюлозно-бумажной промышленности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сарканена К.В., Людвиг К.Х. Лигнины. – М.: «Лесная промышленность», 1975. – 632 с.
2. Богданов А.В., Русецкая Г.Д., Миронов А.П., Иванова М.А. Комплексная переработка отходов производств целлюлозно-бумажной промышленности. – Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2000.- 227 с.
3. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств. – М: «Лесная промышленность», 1989.- 480 с..

### О ХАРАКТЕРЕ ЗАТУХАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЗАПЫЛЁННОЙ ПЛАЗМЕ ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА

Ю.Ю. Луценко, А.В. Родионов, Е.П. Зеленецкая

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [avr10@tpu.ru](mailto:avr10@tpu.ru)

Горение высокочастотного факельного разряда осуществляется [1] за счёт диссипации энергии электромагнитной волны. Поэтому устойчивость его горения определяется его электродинамическими характеристиками. При введении перерабатываемых веществ в плазму факельного разряда его электродинамические характеристики меняются. В частности, изменяется величина волнового числа электромагнитной волны, поддерживающей горение разряда.

В настоящей работе проведены измерения коэффициента фазы и коэффициента затухания электромагнитной волны, распространяющейся в плазме факельного разряда, запылённого проводящими и непроводящими материалами. Одновременно с измерениями волнового числа электромагнитной волны проводились также измерения осевого распределения радиальной компоненты электрического поля запылённого факельного разряда.

Исследуемый разряд возбуждался в воздухе, при атмосферном давлении на частоте 37,5 МГц. Мощность разряда составляла 1,5 кВт. Запыляющий плазму дисперсный материал подавался в разряд через центральное отверстие электрода посредством пневматического питателя. Дисперсность материала составляла 30...50 мкм. Определение величины волнового числа электромагнитной волны, поддерживающей горение разряда, осуществлялось путём сопоставления [2] экспериментально полученного радиального распределения радиальной компоненты электрического поля с расчётными результатами. Измерения напряжённости радиальной компоненты электрического поля проводились посредством емкостного зонда, перемещаемого вдоль плазмоида разряда. Сигнал с емкостного зонда по линии с двойной экранировкой подавался на вход измерительного прибора.

В результате проведённых измерений было установлено увеличение коэффициента затухания электромагнитной волны при запылении разряда проводящим материалом. При этом длина электромагнитной волны, поддерживающей горение разряда, уменьшается. Результаты измерений волнового числа электромагнитной волны подтверждаются результатами измерений осевого распределения напряжённости радиальной компоненты электрического поля разряда. Установлено, что напряжённость электрического поля

запылённого факельного разряда уменьшается вдоль оси канала разряда на 15...20%. Расчёты осевого распределения напряжённости электрического поля, выполненные на основе модели канала разряда в виде электрической линии конечной длины показали достаточно хорошее совпадение с полученными экспериментальными результатами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качанов А.В., Трехов Е.С., Фетисов Е.П. Электродинамическая модель высокочастотного факельного разряда // Журнал Технической Физики. – 1970. – т.15. – с.340-345.
2. Власов В.А., Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. Определение волнового числа электромагнитной волны, распространяющейся в плазме высокочастотного факельного разряда // Теплофизика и аэромеханика. - 2006. - №1. – с.147 – 151.

#### РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОЙ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЙ КОЛОНКИ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА ТЕХНЕЦИЯ-99М НА ОСНОВЕ АКТИВАЦИОННОГО МОЛИБДЕНА

В.С. Скуридин, Е.С. Стасюк, А.С. Рогов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [rogov@tpu.ru](mailto:rogov@tpu.ru)

В настоящее время радиофармацевтические препараты (РФП) на основе короткоживущего радионуклида технеция-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ) используются для проведения диагностических исследований во многих областях медицины. По данным работы [1] с препаратами  $^{99m}\text{Tc}$  во всем мире ежедневно обследуется более 60 тыс. человек. Для получения препаратов  $^{99m}\text{Tc}$  в условиях медицинских лабораторий используют специальные устройства, называемые  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ -генераторами, большая часть которых приходится на генераторы сорбционного типа. Для их изготовления требуется высокоактивный  $^{99}\text{Mo}$  (более 200 Ки/г), выделяемый из продуктов деления урана-235 по дорогостоящим и экологически опасным технологиям. Альтернативной возможностью для наработки  $^{99}\text{Mo}$  является его получение по реакции радиационного захвата ( $n,\gamma$ ) путем облучения молибдена-98 нейтронами ядерного реактора. Эта технология практически не имеет отходов, но получаемый продукт имеет низкую удельную активность  $^{99}\text{Mo}$  на уровне 7-9 Ки/г. Для изготовления генераторов из такого сырья необходимо использовать большое количество Мо, порядка 150-190 мг против 1 мг «осколочного»  $^{99}\text{Mo}$ .

В мировой практике для изготовления сорбционных генераторов  $^{99m}\text{Tc}$  в качестве сорбента чаще всего используется хроматографический оксид алюминия, емкость которого по Мо обычно не превышает 25 мг на грамм оксида [2]. Соответственно, для адсорбции указанного количества Мо масса сорбента должна быть не менее 7,5-8 г. Это, в свою очередь, приводит к увеличению размеров хроматографической колонки генератора, а также габаритов и массы его защитного контейнера. В работе проведены экспериментальные исследования по увеличению сорбционной емкости оксида алюминия за счет подбора оптимальных условий его кислотной активации и заполнения генераторной колонки раствором облученного молибдена, при которых осуществляется адсорбция ионов полимолибдата без их предварительного распада при передвижении через оксид. Исследования проводили на нейтральном и кислом оксидах алюминия с различным поглощенным количеством кислоты. В результате были достигнуты условия, при которых достигалось значение емкости по молибдену 34 мг/г. Это позволяет снизить массу сорбента до 5,6 г и сократить объем генераторной колонки на

30 %. В результате проведенных исследований выдвинут ряд предложений по созданию конструкции малогабаритного генератора технеция и предложены методики по его изготовлению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eckelman WC. Unparalleled contribution of technetium-99m to medicine over 5 decades.// J Am Coll Cardiol Img. 2009;2:364–368.
2. Sarkar SK, Kothalkar C, Naskar P, Joshi S, Saraswathy P, Dey AC, Vispute GL, Murhekar VV, Pilkhwal N. Indigenous technology development and standardization of the process for obtaining ready to use sterile sodium pertechnetate-Tc-99m solution from Geltech generator. Indian J Nucl Med 2013;28:70-4

### ПРИМЕНЕНИЕ БИОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИШЕМИИ ТКАНЕЙ

С.К. Сактаганова, А.Н. Алейник, Н.Д. Тургунова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: nurgalykyzy@mail.ru

Измерение импеданса биологических тканей часто применяется для определения свойств материалов. Электрический импеданс тканей довольно хорошо коррелирует с видом биологической структуры, включая размер клеток, плотность, размеры и основных составляющих внутриклеточной и внеклеточной жидкостей [1]. Биоимпедансная спектроскопия с помощью измерения импеданса тканей на различных частотах позволяет определить резистивную и емкостную составляющие образца. Кроме того, этот метод позволяет обнаруживать различные патологические изменения, такие как ишемия и злокачественные образования [2,3].

Для определения возможности обнаруживать ишемию тканей на ранней стадии и ее изменение в процессе лечения, разработан биоимпедансный спектрометр. Для проверки работоспособности устройства был проведен эксперимент на добровольце, рука которого в спокойном состоянии располагалась на столе, локоть находился на уровне сердца. Два электрода располагались на расстоянии 10 см друг от друга. Измерения проводились в диапазоне частот 1 – 100 кГц, с шагом 1 кГц. Первое измерение было сделано при нормальном кровотоке. Затем на предплечье налагался резиновый жгут в течение 1 минуты. После этого проводилось второе измерение. Далее измерения проводились через каждые 30 секунд, до полного восстановления кровообращения. Полученные данные показывают, что разработанный спектрометр надежно фиксирует наличие и изменение ишемии тканей.

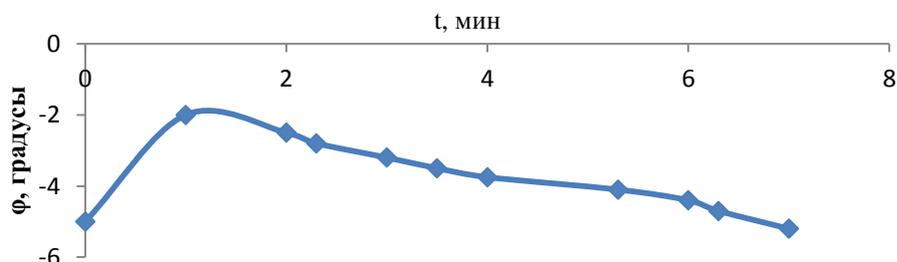


Рисунок 1. Зависимость фазового угла от тока крови

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Riu P.J. Electrical bioimpedance methods: applications to medicine and biotechnology. – New York: New York Academy of Sciences, 1999.
2. Schwan H.P. Electrical properties of tissue and cell suspensions// Adv Biol Med Phys . – 1957. – v. 5 – p.147-209.

3. 3. Wilkinson B.A., Smallwood R.H., Keshtar A. Electrical impedance spectroscopy and the diagnosis of bladder pathology: a pilot study// Wilkinson B.A., Smallwood R.H., Keshtar A., Lee J.A., Hamdy F.C.. J Urol – 2002– v.168 – p.1563-1567.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВАНАДИЯ И НИКЕЛЯ МЕТОДОМ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА В АСФАЛЬТЕНАХ

Е.А. Свиридова, И.В. Шаманин, В.Г. Меркулов, Т.Н. Кряжева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: katysviridova@gmail.com

Нефть, битуминозные сланцы и асфальтиты содержат повышенные концентрации таких элементов как: ванадий, никель, кобальт, платиноиды и ряде других химических элементов. Содержание ванадия достигает 300 г/т (в нефти) и 6-25 кг/т (в асфальтитах). Установлено, что в нефтях содержание ванадия зависит от содержания в них серы [1]. Кроме того, содержание ванадия возрастает в следующей последовательности: парафиновые → нафтеновые → ароматические → высокосмолистые → асфальтеновые нефти [2].

Гончаров И.В. провел анализ изменения величины отношения смолы/асфальтены нефтей разных глубин и районов, который показывает, что связь между отношением смолы/асфальтены и глубиной залегания отсутствует. А.Н. Плюсин, Г.Г. Глухов, Н.А. Алешин показали, что существует обратная связь между содержанием в асфальтенах ванадия и кислорода (карбоксильных групп). Образованию асфальто-смолистых веществ также способствует большое количество азот- и серосодержащих соединений, склонных к всевозможным реакциям друг с другом, что сопровождается увеличением их молекулярной массы. Согласно исследованиям Гончарова И.В. четырехвалентный ванадий в форме ванадил-иона активно участвует в сложной цепи превращений, ведущей к образованию порфириновых и других комплексов, входящих в состав асфальто-смолистых веществ[3].

В настоящее время известны самые разнообразные методы качественного и количественного определения ванадия в нефтях и нефтепродуктах. Каждый из них обладает присущими ему достоинствами и недостатками и для каждого существует область наиболее оптимального и эффективного применения.

С точки зрения идентификации радионуклидного состава гамма-спектрометрические методы анализа образцов почвы являются очень информативными. Однако сложность при обработке результатов анализа заключается в учете вклада от ближайших гамма-линий в исследуемый пик радионуклида. Результаты гамма-спектрометрического анализа позволяют определить радионуклидный состав, соотношения радионуклидов и техногенную составляющую урана в почве [4].

Среди методов анализа, проводимых без предварительного озонения, который ведет к потере элементов и ошибке в определении количества этих элементов в пробе, нейтронно-активационный анализ является наиболее предпочтительным в силу высокой чувствительности и высокой точности [5].

При неразрушающем нейтронно-активационном определении малых количеств ванадия в нефти, смолах и асфальтенах, концентрация этого металла составляет 0,1 мг/кг. Относительная ошибка определения не превышает 8%. С учетом вышеизложенного, нейтронно-активационный анализ может быть рекомендован как универсальный метод количественного и качественного определения ванадия в нефтепродуктах. Наряду с этим, малая продолжительность анализа (6-25 мин.) позволяет использовать его в качестве экспресс-анализа [6].

Дальнейшие исследования предполагают разработку комплексной методики, включающей гамма-спектрометрию и нейтронно-активационный анализ для идентификации происхождения радионуклидов в объектах окружающей среды и оценки вклада техногенной составляющей в различных пробах с повышенным содержанием урана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химия нефти / И.Ю. Батуева, А.А. Гайле, Ю.В. Поконова и др. Под ред. З.Ю. Сюняева – Л.: Химия, 1984. – 360 с., ил.
2. Практикум по химии нефти и газа / Ю.И. Пузин. – Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2004. – 145 с., ил.
3. Гончаров И.В. Геохимия нефтей Западной Сибири. – М.: Недра, 1987. – 181 с.
4. Екидин А. А., Васянович М. Е., Наливайко А. В. Применение гамма-спектрометрии для выявления техногенного загрязнения почвы ураном // Принципы экологии. – 2013. – Т.2. – №.2. – С. 29-35.
5. Определение ванадия в нефтях и нефтепродуктах / Э.Г. Теляшев, О.П. Журкин, Н.М. Ямаев и др. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. – 20 с.
6. Большаков Г.Ф. Экспресс методы определения загрязненности нефтепродуктов. – Л.: Химия, 1977. – 168 с.

#### ТЕХНОЛОГИИ ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВАНАДИЯ И НИКЕЛЯ ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛОЙ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

Е.А. Свиридова, И.В. Шаманин, В.Г. Меркулов, Т.Н. Кряжева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: katysviridova@gmail.com

Тяжелые высоковязкие нефти отличаются от легкой нефти повышенной вязкостью в естественных условиях и комплексным составом. Согласно классификации исследователей [1, 2], нефть с плотностью выше 0,88 г/см<sup>3</sup> относится к тяжелой высоковязкой нефти.

Концентрация никеля и ванадия в высоковязкой нефти различных месторождений сопоставима с содержанием данных металлов в рудах, в результате чего попутное извлечение этих и других металлов из тяжелой нефти рационально и экономически обоснованно. По мировым оценкам потенциальные запасы ванадия и никеля в тяжелой нефти и битумах составляют примерно 125 млн.т., а извлекаемые попутно с нефтью – около 20 млн.т. [3]. Изучение состава попутных металлов обнаружило их высокую чистоту по сравнению с добытыми из руды, поэтому ведущие страны, такие как Япония и Канада удовлетворяют свои потребности в ванадии и никеле за счет их извлечения из высоковязкой нефти.

В Японии, Канаде, Венесуэле, США успешно применяют технологии попутного извлечения металлов из высоковязкой нефти с помощью химических реагентов и др. [4]. В Казахстане ученые предложили другую технологию попутного извлечения ванадия из тяжелой нефти и битумов: путем перевода соединения ванадия в ионную форму и извлечение металла из нефти и нефтепродуктов путем использования редокс-(со)полимеров в качестве ионообменных смол, с селективным отбором ванадийсодержащих ионов [5].

Для промышленного освоения месторождений высоковязкой нефти и битумов используют специальные способы добычи, транспортировки и переработки, которые учитывают их токсичность, а также требуют энергетических и материальных затрат. Примером подобного способа добычи и разработки нефтяных месторождений (ООО «Татнефть») является влажное внутрипластовое горение и метод паротеплового воздействия [4]. Однако применение этого способа приводит к безвозвратной потере многих металлов (U, As, Hg и др.) в добываемой нефти (для ванадия – в среднем 36%) из-за того, что металлы вместе с легкими

фракциями нефти распространяются в другие пласты, иногда вырываясь на поверхность, что приводит к серьезным экологическим последствиям. Так как ванадий и никель переходят из связанного состояния в мелкодисперсное и химически агрессивное состояние, мышьяк и ртуть – априори токсичны, а уран – радиоактивен и обладает высокой степенью подвижности в различных средах, и все это приводит к загрязнению окружающей среды и опасности для здоровья человека.

Поэтому внедрение технологий попутного извлечения металлов, особенно ванадия и никеля, при добыче и первичной переработки тяжелой высоковязкой нефти и битумов приведет к ресурсоэффективному использованию полезных ископаемых и более экологичному способу добычи нефти.

Потенциал тяжелой нефти может стать надежным источником необходимых объемов добычи и переработки нефти, ценных попутных компонентов (V, Ni) и товаров на их основе. Высоковязкие нефти и битумы содержат повышенные концентрации таких уникальных компонентов, как металлопорфирины, которые являются источником катализаторов и органических полупроводников, нашедших применение в медицине, био- и химических технологиях.

Применение технологий попутного извлечения металлов совместно с нефтью в России будет востребовано по мере исчерпания запасов легкой нефти и перехода на разработку добычи тяжелой нефти с промышленным содержанием ванадия и никеля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Тяжелые нефти: аналитический обзор закономерностей пространственных и временных изменений их свойств // Нефтегазозонное дело. – 2005. - №3. – С. 21-30.
2. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Тяжелые нефти: закономерности пространственного размещения // Нефтяное хозяйство. – 2007. - №2. – С. 110-113.
3. Суханов А.А., Петрова Ю.Э. Ресурсная база попутных компонентов тяжелых нефтей России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2008. – Т.3. – №2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ngtp.ru/rub/9/23\\_2008.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/9/23_2008.pdf) – 12.04.2015.
4. Искрицкая Н.И. Экономическая эффективность инновация ВНИГРИ при освоении месторождений высоковязких нефтей и природных битумов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2006. – Т.1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ngtp.ru/rub/9/10.pdf> – 14.04.15.
5. Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М., Молдабаева Г.Ж. Инновационные способы извлечения ванадия из нефти и нефтепродуктов // Нефть и газ Западной Сибири: Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 55-летию Тюменского государственного нефтегазового университета. – Тюмень, 2011. – Т.3. – С. 116-118.

#### РАЗРАБОТКА ОКСИМЕТРА ДЛЯ НЕВРОЛОГИИ

З.К.Серикбекова<sup>1</sup>, А.Н. Алейник<sup>1</sup>, Н.Г. Жукова<sup>2</sup>, И.А. Жукова<sup>2</sup>, М.А. Никитина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Сибирский государственный медицинский университет,

Россия, г. Томск, Московский тракт, 2, 634050

E-mail: [zarina\\_lg5@mail.ru](mailto:zarina_lg5@mail.ru)

Во время проведения хирургических операций может произойти снижение насыщения мозга кислородом, при этом изменение других контролируемых параметров незначительно. Следует избегать длительных интервалов аноксии, которые могут привести к серьезным нарушениям центральной нервной системы. Основным методом для контроля тока церебральной крови является метод Кэти-Шмидта [1]. В этом случае пациент вдыхает смесь газов O<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O. Затем с помощью инвазивных методов берутся образцы крови.

Томографические методы, такие как позитронная томография, магнитно-резонансная томография и другие связаны с риском введения изотопов, реакцией организма на контрастные вещества и связанные с этим нервные заболевания. Кроме того, эти методы довольно дороги и не могут применяться в обычной клинической практике. Церебральная оксиметрия представляет собой метод для измерения насыщения кислорода с помощью инфракрасной спектроскопии [2-4]. Кроме того, импульсная оксиметрия на отражение позволяет определить внезапные изменения в активации симпатической нервной системы. На кафедре ПФ ФТИ разработан импульсный оксиметр на отражение для применения в неврологии. Отражательный оксиметр имеет определенное преимущество, так как с его помощью можно проводить измерения в любой части тела. Прибор состоит из оптического преобразователя, приемной части и системы сбора и обработки данных. Основным управляющим элементом является микроконтроллер Atmega16. Сигнал обрабатывается 10 разрядным АЦП. Каждый светодиод управляется через мультиплексор. Предварительные результаты показывают, что прибор обладает хорошей разрешающей способностью и высокой надежностью. Применяемые схемные решения позволили улучшить характеристики прибора по сравнению с существующими приборами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Taudorf S, Berg RM, Bailey DM, MÅller K. Cerebral blood flow and oxygen metabolism measured with the Kety-Schmidt method using nitrous oxide. *Acta Anaesthesiol Scand* 2009; 53:159-16.
2. Henson LC, Calalang C, Temp JA, Ward DS. Accuracy of a cerebral oximeter in healthy volunteers under conditions of isocapnic hypoxia. *Anesthesiology* 1998; 88:58-65.
3. Olsen KS, Svendsen LB, Larsen FS. Validation of transcranial near-infrared spectroscopy for evaluation of cerebral blood flow autoregulation. *J Neurosurg Anesthesiol* 1996; 8:280-285.
4. Kim MN, Durduran T, Frangos S, Edlow BL, Buckley EM, Moss HE, Zhou C, Yu G, Choe R, Maloney Wilensky E, Wolf RL, Grady MS, Greenberg JH, Levine JM, Yodanis CL, Detre JA, Kofke WA. Non-invasive measurement of cerebral blood flow and blood oxygenation using near-infrared and diffuse correlation spectroscopies in critically brain-injured adults. *Neurocrit Care* 2010; 12:173-180.

#### ФТОРАММОНИЙНЫЙ МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ ЦИРКОНА

А.А. Смороков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [wolfraum@yandex.ru](mailto:wolfraum@yandex.ru)

Существующие методы получения диоксида циркония основаны на переработке баделлеита ( $ZrO_2$ ). Переработка циркония затрудняется его химической инертностью, для преодоления которой необходимо проводить предварительную активацию концентрата или же его спекание при высоких температурах [1].

Предлагается использовать вскрытие цирконового концентрата, предварительно прошедшего активацию, расплавом гидрофторида аммония при  $200^\circ C$ . Получаемые фтораммонийные соединения циркония и кремния разделяются сублимацией гексафторосиликата аммония при  $320^\circ C$ .

Гептафтороцирконат аммония тоже может быть подвергнут сублимационной очистки от присутствующих примесей. После десублимации производится осаждение фтораммонийного соединения циркония аммиачной водой. Получаемый в ходе реакции фторид аммония направляется на регенерацию фторирующего агента. Основной продукт – гидратированный диоксид циркония, может быть направлен на получение волокнистого диоксида циркония через образование оксохлорида циркония с последующей прокалкой в печи, или, минуя стадию получения хлоридов, сразу подвергается прокалке в печи. Полная схема переработки цирконового концентрата представлена на рисунке 1.

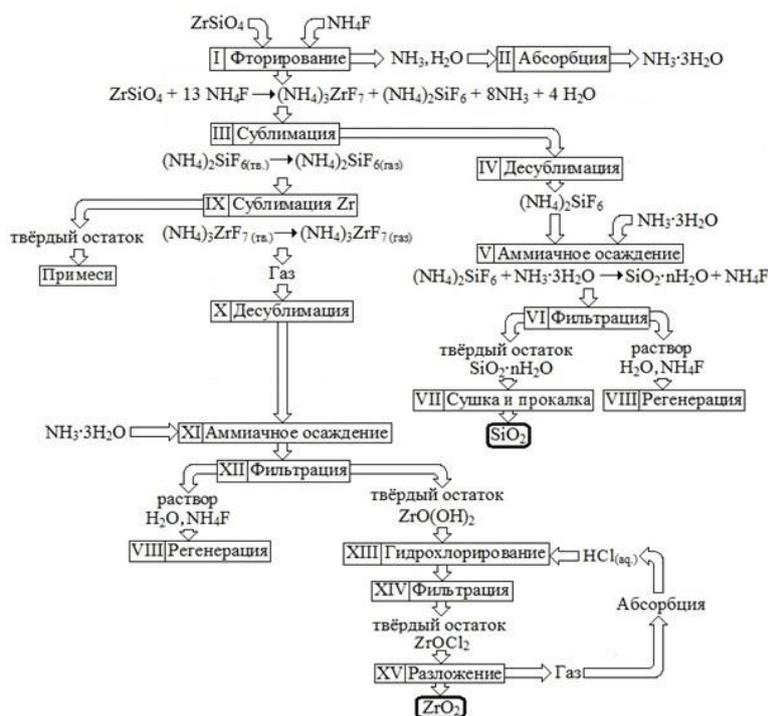


Рисунок 1. Схема переработки цирконового концентрата

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нехамкина Л.Г. *Металлургия циркония и гафния*. М: «Металлургия», 1979 – 209 с.

#### ПРИМЕНЕНИЕ $Ba(BrF_4)_2$ ДЛЯ СИНТЕЗА БРОМАЛКАНОВ

В.И. Соболев, Р.В. Оствальд, И.А. Соболев, И.И. Жерин, В.В. Шагалов  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: vsobolev1989@tpu.ru

С целью дальнейшего развития результатов, представленных в предыдущей работе [1] по исследованию свойств тетрафторобромата бария (ТФББ) относительно различных органических субстратов, был исследован процесс взаимодействия ТФББ и предельных углеводородов на примере гексана, гептана, октана и нонана. Предварительные эксперименты, проведенные с вышеупомянутыми алканами, показали принципиальную возможность селективного получения монобромпроизводных алканов с применением ТФББ. Наиболее эффективно показал себя процесс взаимодействия ТФББ с н-гексаном; исследованию этого процесса посвящена данная работа.

Для снижения интенсивности реакции взаимодействия в работе использовался раствор н-гексана во фреоне-113, который инертен по отношению к ТФББ. Наиболее эффективным является 5-тикратное разбавление органического субстрата фреоном-113. Данный прием успешно зарекомендовал себя при синтезе самих тетрафтороброматов из фторидов щелочных и щелочноземельных металлов и трифторида брома [2].

Для эмпирического определения оптимального соотношения н-гексана и ТФББ мы использовали различные мольные соотношения реагентов и навески [3].

Для определения наиболее эффективного соотношения н-гексана и ТФББ с целью получения 3-бромгексана нами был проведен полуколичественный анализ содержания в пробах 3-бромгексана по процентному соотношению площадей пиков [4].

Тетрафторобромат бария ( $\text{Ba}(\text{BrF}_4)_2$ , ТФББ) демонстрирует повышенную реакционную способность по отношению к такому классу органических соединений, как предельные углеводороды. Главным продуктом взаимодействия является 3-бромгексан, что указывает на преимущественные процессы бромирования углеводородной цепи алкана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев В. И., Радченко В. Б., Ивлев С. И., Оствальд Р. В., Филимонов В. Д., Жерин И. И. // Известия Томского политехнического университета, ТПУ. – 2013. – Т. 323. – С. 44 – 49.
3. Sobolev V. I., Radchenko V. B., Ostvald R. V., Filimonov V. D., Zherin I. I. p-Nitrotoluene Bromination Using Barium Fluorobromate  $\text{Ba}(\text{BrF}_4)_2$  // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1040. – P. 337–341.
4. Ivlev S., Sobolev V., Markus H. et al. Synthesis and Characterization of Barium Tetrafluoridobromate(III)  $\text{Ba}(\text{BrF}_4)_2$  // Eur. J. Inorg. Chem. – 2014. – Vol. 2014. – № 36. – P. 6261–6267.
5. Ivlev S. I., Woidy P., Sobolev V. I., Zherin I. I., Ostvald R. V., Kraus F. On Tetrafluorobromates(III): Crystal Structures of the Dibromate  $\text{CsBr}_2\text{F}_7$  and the Monobromate  $\text{CsBrF}_4$  // Zeitschrift fur anorganische und allgemeine Chemie. – 2013. – Vol. 639. – № 15. – P. 2846–2850.

#### ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ОБРАБОТКА ФТОРСОДЕРЖАЩИХ КИСЛОТНЫХ РАСТВОРОВ

С.А. Сосновский, В.И. Сачков

Сибирский физико-технический институт Томского государственного университета,

Россия, г.Томск, пл. Новособорная, 1, 634050

E-mail: ssa777@mail.ru

Производства, связанные с химической и электрохимической обработкой металлов, являются одними из наиболее вредных для окружающей среды. Поэтому вопросы эффективной утилизации жидких техногенных отходов в процессах обработки металлов в настоящее время остаются весьма актуальными. Одним из термических методов обезвреживания промышленных жидких техногенных отходов является термохимическое обезвреживание, проводимое в распылительном реакторе. Суть этого метода заключается в том, что жидкость в распылённом состоянии вводится в высокотемпературную зону термического реактора. При этом капли жидкости полностью испаряются, токсические примеси подвергаются термохимическому разложению и окислению. Содержащиеся в жидкости минеральные примеси образуют твёрдые частицы, которые уносятся с газами и улавливаются в фильтрационном блоке установки. В отличие от известной классической схемы [1] в данном случае мы имеем дело с регенерацией двух кислот. Кроме того, травлению подлежит не просто титан, а титановые сплавы с различными легирующими добавками, ассортимент и количество которых меняются в достаточно широком диапазоне [2].

Самая общая оценка физико-химических свойств порошка оксида титана полученных в ходе регенерации, которую удалось получить в ходе исследований, сводится к следующему: продукт представляет собой хорошо текучий дисперсный порошок; по химическому составу это в основном диоксид титана; по структуре продукт представляет собой смесь анатаза и рутила, соотношение между которыми определяется температурой терморазложения исходного раствора; удельная поверхность порошка от 100 до 200 м<sup>2</sup>/г; по предварительной оценке размер частиц от 10 до 100 нм.

Совокупность указанных свойств даёт основание говорить о нескольких возможных областях применения твёрдого продукта регенерации. Во-первых, это применение в качестве пигментного материала.

Во-вторых, использование полученного порошка для производства катализаторов и адсорбентов. В-третьих, применение в качестве наполнителей резины, пластмасс и других высокомолекулярных материалов. Полученный порошок может найти применение и в качестве стабилизирующей добавки, загустителя и т.д. для различного рода жидких продуктов типа суспензий, лаков, красок, эмульсий.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуренко В.Д., Файнштейн В.М. Травление полос и листов в соляной кислоте. – М.: Металлургия, 1971. – 127 с.
2. Лучинский Г.П. Химия титана. – М.: Химия, 1971. – 176 с.

#### ГИДРИРОВАНИЕ ЛИГАТУР ND-FE ПРИ РАЗЛИЧНОМ ДАВЛЕНИИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА

В.Л. Софронов, А.С. Буйновский, Е.Ю. Карташов, М.Е. Калаев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,

Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31, 115409

E-mail: [VLSofronov@mephi.ru](mailto:VLSofronov@mephi.ru)

Введение высоконеодимовых сплавов Nd-Fe в качестве лигатур в магнитные сплавы Nd-Fe-B при помощи метода твердофазного легирования позволяет значительно повысить качество базовых сплавов за счет равномерного распределения компонентов и положительного влияния на рост основной магнитной фазы Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B. Для использования сплава Nd-Fe в качестве лигатуры в таком процессе его необходимо измельчить, что достаточно сложно осуществить технологически: сплав очень прочен, а в измельченном состоянии быстро окисляется на воздухе. В связи с этим для измельчения высоконеодимовых сплавов было предложено применять известный метод водородной деструкции [1].

Водородной деструкции подвергали сплавы, полученные внепечным кальциетермическим восстановлением соответствующих фторидов [2]. Основными объектами исследований были высоконеодимовые лигатуры Nd(70-80 % мас.)-Fe(20-30 % мас.).

Исследование процесса гидрирования РЗМ-содержащих материалов проводили на установке, включающей вакуумный пост, газовую рампу с гелием и водородом, систему обезвоживания газов с помощью силикагеля, систему очистки водорода с помощью никелида лантана, реактор для исследования кинетики процесса в изотермических условиях, а также систему регистрации температуры и давления в реакторе и коммуникациях. Выбор температуры проведения экспериментов был основан на предварительных экспериментах по изучению влияния температуры на процесс гидрирования.

Исследования влияния давления водорода на показатели процесса гидрирования лигатур и сплавов проводили при 100 % избытке водорода и температуре 100 °С. Соотношение масс магнитных материалов и водорода сохраняли в каждом опыте постоянным. Из полученных данных можно сделать вывод, что увеличение начального давления водорода в интервале (0,05-0,3) МПа приводит к росту степени гидрирования материалов. Это подтверждает диффузионный механизм протекания процессов гидрирования лигатур и сплавов. При этом гидрирование лигатур протекает достаточно полно и степени гидрирования находятся на уровне (82-90)%, а магнитных сплавов – значительно ниже (52-72) %.

Для исследования влияния избытка водорода в экспериментах изменяли соотношение давление водорода в реакторе при постоянной температуре, равной 200 °С. Массу лигатуры при этом оставляли

постоянной (200 г). Из полученных данных можно сделать вывод, что избыток водорода оказывает существенное влияние на показатели процесса гидрирования: с увеличением избытка водорода максимально достигаемая степень гидрирования лигатуры возрастает.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Harris R., Williams A.J. Rare Earth Magnets // Materials World. – 1999. – Vol. 7. No. 8. – P. 478-81, 1999.
2. Bujnovskij A.S., Sachkov V.I., Sofronov V.L., Anufrieva A.V. Basic stages of magnet production by fluoride technology // Advanced Materials Research. – 2015. – Vol. 1085. – P. 209-213.

#### РАЗРАБОТКА ОБЩИХ ПРИНЦИПОВ ВВЕДЕНИЯ РАДИОАКТИВНОЙ МЕТКИ ТЕХНЕЦИЯ-99М В ПРОИЗВОДНЫЕ ГЛЮКОЗЫ

Е.С. Стасюк, В.С. Скуридин, Е.А. Ильина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [svs1946@rambler.ru](mailto:svs1946@rambler.ru)

Своевременное выявление злокачественных новообразований на ранних стадиях их развития остается одной из актуальнейших проблем современной медицины. Согласно статистике Всемирной организации Здравоохранения, в 2013 году онкологические заболевания унесли жизни более 288 тыс. россиян [1]. Эффективность медицинской помощи больным с онкологическими заболеваниями напрямую зависит от уровня развития и внедрения в медицинскую практику современных методов диагностики. Производные глюкозы, меченные радиоактивными изотопами, имеют большую перспективу для ранней диагностики злокачественных новообразований. Это связано с тем, что в клетках опухоли отмечается повышенный уровень метаболизма глюкозы по сравнению с нормальными клетками [2]. В настоящее время в мире для диагностических целей применяется производная глюкозы содержащая позитрон-излучающий радионуклид фтор-18, 2-фтор-2-дезоксид-глюкоза ( $^{18}\text{F}$ -ФДГ).

Основные проблемы, с которыми сталкиваются исследователи при получении более доступных и удобных для широкого круга пользователей, меченных технецием-99м производных глюкозы, связаны с химическими свойствами этого радионуклида. В отличие от РФП на основе таких изотопов, как  $^{123}\text{I}$  и  $^{18}\text{F}$ , которые могут быть получены в результате окислительно-восстановительных реакций или реакций нуклеофильного замещения, радиофармпрепараты с  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  обычно получают через координационную связь с определенным лигандом, что является гораздо более трудной задачей. Поскольку глюкоза имеет в своем составе только атомы углерода, водорода и кислорода образование стабильной координационной связи с металлом затруднено. Решением указанной проблемы является введение в молекулу глюкозы атомов азота или серы. Производные глюкозы, содержащие в своем составе атомы азота и серы (такие как 5-тио-D-глюкоза, 1-тио-D-глюкоза, D-глюкозамин и др.), способны образовывать стабильную координационную связь с технецием-99м после его восстановления до 4-х, 5-х валентного состояния.

Основной задачей данной работы стало, разработка общих принципов введения радиоактивной метки технеция-99м в производные глюкозы. В результате проведенных исследований были рассмотрены несколько субстанций глюкозы в состав которых входили атомы азота и серы. В работе изучены химические свойства, определена растворимость, стабильность лигандов во времени, при различных pH растворов. Подобраны системы для хроматографического разделения комплексов с технецием -99м.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский А. Интервью РИА новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ria.ru/society/20150204/1045799352.html#ixzz3XBIRcw8w>
2. Dimitriadis G., Maratou E., Boutati E., Psarra K. et al. Evaluation of glucose transport and its regulation by insulin in human monocytes using flow cytometry // Cytometry A. 2005. - V. 64. №1. – P.27-33.

#### КИНЕТИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

А.А. Орлов, Д.Г. Видяев, Е.А. Тюделеков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [vidyaevdg@tpu.ru](mailto:vidyaevdg@tpu.ru)

Наиболее действенным методом очистки щелочных металлов и разделения их изотопов является метод химического обмена [1]. Нами разработан новый галламный химобменный способ разделения щелочных металлов подобный промышленному, амальгамному, в котором вместо амальгамы используется сплав галлия со щелочным металлом – галлама.

Как известно, изучение кинетических и термодинамических характеристик химических реакций, протекающих в процессе обмена дает возможность получить информации необходимую для прогнозирования эффективности разделения. Поэтому целью данной работы было проведение исследований по определению константы равновесия, времени установления равновесного состояния и кинетических параметров протекающих параллельно реакций разложения и элементного обмена в системах LiGa–NaOH, LiGa–KOH, KGa–NaOH.

Опыты проводились в интервале температур 40–80°C при концентрации галламы ~ 0,95 моль/л, водных растворов гидроксидов – 4,0 моль/л.

Эксперименты показали, что равновесного состояние в исследуемых системах наступает примерно через 15 минут. Определены значения равновесного коэффициента разделения ( $\alpha$ ) щелочных металлов в системах LiGa–NaOH, LiGa–KOH, KGa–NaOH. Для систем LiGa–NaOH, LiGa–KOH изучена зависимость  $\alpha$  от температуры и концентрации обменивающихся фаз.

Определены кинетические параметры элементного обмена лития, натрия, калия. Показано, что константа скорости элементного обмена в исследованном интервале температур возрастает и описывается уравнением Аррениуса. Для этого уравнения рассчитаны значения энергии активации реакции обмена для систем LiGa–NaOH и LiGa–KOH, которые составили соответственно 13,44 кДж/моль и 14,13 кДж/моль.

Исследована кинетика разложения галлам щелочных металлов в системах LiGa–NaOH, LiGa–KOH, KGa–NaOH. Определены значения константа скорости разложения  $K_p$ . Установлено, что с ростом температуры значения  $K_p$  в рассмотренных системах возрастают, поэтому обмен в них целесообразно проводить при температуре 40°C.

Проведено сравнение полученных данных по кинетике разложения галлам и кинетики обмена в исследованных системах и показано, что при 40°C величина  $K_0$  более чем в 70 раз превышает величину  $K_p$ . Следовательно, в данных системах возможно многократное умножение однократного эффекта разделения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Б. М., Зельвенский Я. Д., Катальников С. Г. Разделение стабильных изотопов физико-химическими методами. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 208 с.

#### ФОРМИРОВАНИЕ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.Ф. Мышкин, И.А. Ушаков, А.С. Григорьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: mamay2008@bk.ru

Неуклонному расширению сферы применения изотопов препятствует их высокая стоимость. Химические реакции в магнитном поле имеют высокую селективность по изотопам. При этом необходимо разделять продукты реакции от исходных веществ. Цель исследования – изучение влияния магнитного поля на эффективность формирования дисперсной фазы в плазмохимических процессах.

Моделирование позволяет уменьшить количество необходимых экспериментальных исследований. С использованием программы для термодинамического моделирования «TERRA» исследовали равновесный состав в интервале температур 1000–4000 К при атмосферном давлении. В качестве плазмообразующей смеси рассматривались Ar, O<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> [1], в которую добавляли пары Fe, C. По результатам моделирования, содержание сажи уменьшается по линейной зависимости от концентрации O<sub>2</sub> и исчезает при [O<sub>2</sub>] более 1,3%. Содержание FeC в дисперсной фазе постоянно при содержании кислорода 0-1%, и исчезает при [O<sub>2</sub>] более 1,5%. Добавление азота приводит к уменьшению [FeC].

Температура испарения графита составляет 3780 К. Для достижения температур, при которых графит эффективно испаряется, можно использовать плазму дугового разряда. Железо плавится при температуре 1812 К. На экспериментальном стенде для сохранения формы железный электрод выполнен массивным.

В качестве источника питания (ИП) был использован выпрямитель ВД-306УЗ. Анод ИП соединен с корпусом алюминиевого реактора объемом 2 л, на дне которого расположен стальной диск. Катод ИП соединен с вертикальным графитовым стержнем, изолированным от корпуса. Газовую смесь подавали из баллонов через штуцер в нижнюю часть реактора. Относительная доля плазмообразующих газов составляла Ar - 3%, O<sub>2</sub> - 18%, N<sub>2</sub> - 79% при суммарном расходе 580 см<sup>3</sup>/мин. Использовали две пары магнитов (0,2 Тл, 1,0-1,2 Тл), располагаемых симметрично относительно дуги на разных расстояниях.

Наибольшее содержание углерода (94,8%) наблюдается в порошке, полученном из дуги в атмосфере [Ar]=3%, [O<sub>2</sub>]=18%, [N<sub>2</sub>]=79% без магнитов. При использовании магнитов с остаточной напряженностью 0,2 Тл на расстоянии 30 см образуется наибольшее количество Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (54,15%), а наибольшая содержание [Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]=18,4% при тех же магнитах на расстоянии 10 см. Наибольшая концентрация FeO в дисперсной фазе получена при использовании магнитов с остаточной намагниченностью 1,1 Тл на расстоянии 4 см друг от друга. Карбиды железа в дисперсной фазе не обнаружены. Количество оксидов железа в образующемся порошке периодически изменяется при увеличении расстояния между магнитами.

Малые размеры дугового разряда (температура достигает до 6000К) способствуют интенсивному испарению электродов. При этом плазма быстро охлаждается – закалка. Поэтому углерод, даже при [O<sub>2</sub>]=18%, конденсируется без окисления, а железо дольше остается в виде пара и окисляется при более низких

температурах. Магнитное поле способствует окислению углерода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков И. А., Ижойкин Д. А., Мышкин В. Ф. Выбор окислителя для спиновой сепарации изотопов в плазмо-химических процессах // Известия вузов. Физика. - 2015 - Т. 58 - №. 2/2. - С. 41-46.

#### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ НА ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА РАДОНА

К.О. Шилова, Н.К. Рыжакова, Ю.О. Ключникова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [kosl@tpu.ru](mailto:kosl@tpu.ru)

При оценке радоноопасности территорий застройки основной интерес представляет количество радона, выходящего из грунтов. Поэтому в Российской Федерации при санитарно - экологических изысканиях проводят измерения плотности потока радона с поверхности грунтов (ППР) [1]. Однако используемые приборы и методики измерения ППР подвергаются критике, поскольку из-за сильной вариабельности ППР не удается получить достоверные оценки радонового потенциала территории [2]. По результатам большого количества измерений ППР, проведенных как в Российской Федерации, так и за рубежом, сделаны весьма противоречивые выводы о причинах изменчивости выхода радона из грунтов. До настоящего времени так и не выявлены основные факторы, влияющие на измеряемые значения плотности потока радона.

Целью данного исследования является изучение влияния физических свойств грунтов на величину ППР. Измерение плотности потока радона, а также определение коэффициентов диффузии и эманирования, проведено методами «двух глубин», разработанными на кафедре ПФ ФТИ [3]. Методы основаны на измерении объемной активности радона в пространстве пор грунта на двух небольших, отличающихся в два раза глубинах. Содержание радия в грунтах определяли с помощью спектрометра на базе полупроводникового германиевого детектора типа ДГДК-100В. Для определения пористости грунтов использовали метод режущего кольца.

Значения ППР, полученные в работе, лежат в диапазоне  $0.17 \dots 9.2$  мБк  $\text{с}^{-1} \text{м}^{-3}$  и подчиняются логнормальному распределению. Пористость грунтов составляет в среднем 0.44; коэффициент вариации - 7.3%. Среднее значение содержания радия при коэффициенте вариации 8.3% равно  $26.5$  Бк  $\text{м}^{-3}$ . Коэффициенты диффузии и эманирования составляют в среднем соответственно  $3.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$  и 3.3%; коэффициенты вариации этих величин соответственно равны 15% и 6%. Корреляционный анализ показал, что между ППР и коэффициентом диффузии существует прямая зависимость – коэффициент корреляции составил 0.79. Между коэффициентом эманирования и ППР зависимость выражена слабее – коэффициент корреляции равен 0.53. Прямой или обратной зависимости между ППР и содержанием радия, а также пористостью не обнаружено.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства «Инженерно-экологические изыскания строительства» СП 11-102-97. М.: Госстрой России, 1997.
2. Баннов Ю.А. Лаборатория радиационного контроля ООО «Геокоп», «Два года: опыт работы» // АНРИ, 2005. №2. С. 54 – 71.
3. Nadezhda K. Ryzhakova, Criteria of radon risk of territories and methods for their determination // J. of Elsevier Editorial System(tm) for Applied Radiation and Isotopes.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА БИОПОКРЫТИЙ

А.А. Шинжина<sup>1</sup>, М.Б. Седельникова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634021

E-mail: [sh-aiym@mail.ru](mailto:sh-aiym@mail.ru)

При создании современных имплантатов актуальной является разработка методов и способов модификации поверхности металлических имплантатов. С целью улучшения биоактивных свойств на поверхность имплантатов различными методами наносят кальцийфосфатные покрытия [1, 2]. В качестве основного компонента биопокровтий, как правило, используют гидроксипатит ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ), который является неорганической составляющей костного матрикса. Высокую биоактивность проявляют также биокерамика и биоактивные стекла, к которым относятся и соединения типа  $\text{CaO-SiO}_2$ . Исследователями ТПУ (г. Томск) получена прочная биокерамика на основе гидроксипатита и природного минерала волластонита  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  [3].

В данной работе биопокровтия на основе системы волластонит-фосфаты кальция наносили методом микродугового оксидирования (МДО) на поверхность образцов из технически чистого титана ВТ1-0. В состав электролита на основе водного раствора ортофосфорной кислоты вводили гидроксипатит, являющийся минеральной основной костной ткани и обладающий высокой биосовместимостью. С целью повышения биологической активности покрытия в состав электролита добавляли волластонит. На изделия подавали импульсное напряжение, под действием которого на поверхности образцов возникали локальные микроплазменные разряды и происходил синтез покрытия.

Морфологию поверхности покрытий исследовали методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) (Philips SEM 515, TecnaiG2 FEI). Толщину покрытий измеряли с помощью микрометра МК-25. Элементный состав оценивали по характеристическим спектрам рентгеновского излучения. Фазовый состав покрытия определяли методом рентгенофазового анализа (РФА) с использованием  $\text{CuK}\alpha$ -излучения на дифрактометре ДРОН-7. Исследования показали, что основными параметрами, влияющими на свойства покрытий (толщину, шероховатость, морфологию поверхности), являются напряжение и длительность процесса МДО.

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований СО РАН на 2013-2016 гг., проекта III 23.2.5, РФФИ №15-03-07659.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лясникова А.В., Дударева О.А. Применение электроплазменной технологии для нанесения фторгидроксипатитовых биоактивных покрытий на дентальные имплантаты // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – №2. – С. 153-158.
- 2 Liu G.Y., Hu J., Ding Z.K., Wang C. Formation mechanism of calcium phosphate coating on micro-arc oxidized magnesium // Materials Chemistry and Physics. – 2011. № 130. – P. 1118-1124.
- 3 Шумкова В.В., Погребенков В.М., Карлов А.В., Козик В.В., Верещагин В.И. Гидроксипатит-волластонитовая биокерамика // Стекло и керамика. – 2000. – № 10. – С. 18-21.

## ОБРАБОТКА ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ РАСХОДЯЩЕГОСЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ПУЧКА НА МНОГОКАНАЛЬНОМ ГАЗОРАЗРЯДНОМ ДЕТЕКТОРЕ

А.Д. Южаков, Ф.А. Пак, С.Г. Стучебров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: alx-142@yandex.ru

На сегодняшний день многоканальные газоразрядные детекторы почти полностью вытеснены полупроводниковыми детектирующими системами, считающимися наиболее перспективными в силу их высокого быстродействия, высокого контрастного разрешения и возможности создавать устройства, обладающие очень большим пространственным разрешением. Однако существует ряд задач, при которых требования к системе детектирования не столь высоки, и газоразрядные многоканальные детекторы соответствуют им в полной мере. Выгода использования газоразрядных координаточувствительных систем заключается в простоте их изготовления, низкой стоимости и, соответственно, возможности создания детекторов большого размера. В Томском политехническом университете на базе многоканального газоразрядного детектора ПРИЗ-1536 [1] был создан прототип для томографической визуализации с субмиллиметровым пространственным разрешением [2,3]. Установка позволяет получать, как проекционные двухмерные изображения исследуемых образцов, так и томографические данные об их внутренней структуре. Данная установка была модернизирована путем замены источника излучения на трубку MXR-451HP/11 [4].

Целью работы являлось исследование свойств томографических изображений, полученных на модернизированной установке. Обработка изображений посредством специализированного программного обеспечения позволила оценить контрастное разрешение полученных данных, пространственное разрешение установки и осуществить калибровку данных, позволяющую определять значения индексов Хаунсфилда элементов исследуемых образцов. Полученные результаты демонстрируют пригодность используемого многоканального газоразрядного детектора ПРИЗ-1536 для получения томографических изображений с субмиллиметровым пространственным разрешением.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по эксплуатации: «Многоканальная ионизационная камера для рентгенографической установки сканирующего типа». – Новосибирск: ИЯФ СО РАН, 2006. – 10 с.
2. Стучебров С. Г., Вагнер А. Р., Черепенников Ю. М., Дусаев Р. Р. Цифровая рентгеновская установка на базе сканирующего рентгеновского газоразрядного детектора для изучения внутренней структуры биологических объектов // Известия вузов. Физика. - 2013 - Т. 56 - №. 4/2. - С. 287-291
3. Стучебров С. Г., Батрагин А. В., Лукьяненко Е. В., Сиягина М. А. Установки-прототипы для томографической визуализации с субмиллиметровым пространственным разрешением // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 2/2. - С. 78-82
4. MXR-451HP/11 Product Description [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.comet-xray.com/Resources/Products/X-Ray-Tubes/Documents/mxr\\_451hp\\_11\\_en.pdf](http://www.comet-xray.com/Resources/Products/X-Ray-Tubes/Documents/mxr_451hp_11_en.pdf) – 15.05.15.

---

# Секция 5

---

Радиационные и  
пучково-плазменные  
технологии в науке,  
технике и медицине

## CONTROL OF VACUUM ARC MACROPARTICLES BY NEGATIVE REPETITIVELY PULSED BIASING

A.I. Ryabchikov, D.O. Sivin, A.I. Bumagina, D.A. Andriyashin

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina 2, bldg. 4, 634050

E-mail: [bai@tpu.ru](mailto:bai@tpu.ru)

The results of an experimental study of the influence of a substrate negative bias with various pulse widths and pulse repetition rates ranging from several pulse per second (p.p.s.) to  $10^5$  p.p.s. on the macroparticle (MP) accumulation on substrate immersed in a DC titanium vacuum arc plasma are presented. It was found that the rate of MP deposition on the substrate surface depends significantly on the bias pulse parameters and the processing time.

The experimental data of the MP amount on the steel sample versus pulse frequency are presented in Figure 1. Increasing the bias pulse frequency from 10 to  $10^4$  p.p.s. led to a gradual reduction in the MP number acquisition on the target. However, this decrease did not exceed 20%. The character of the curve varies considerably in the bias-pulse frequency range of  $10^4$  to  $10^5$  p.p.s.. In this frequency range of the bias pulses, the surface MP number density decreased 5-fold.

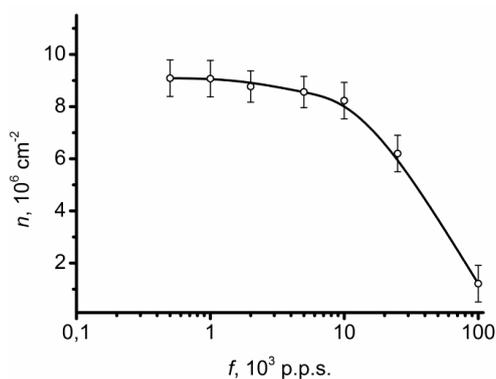


Figure 1. MP number density ( $n$ ) versus pulse repetition rate ( $f$ ) at  $\phi b = -2$  kV, a processing time of 30 s, and a cathode– steel substrate distance of 23 cm.

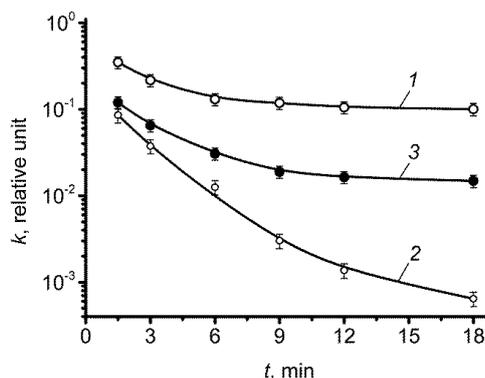


Figure 2. Reduction in the MP number acquisition on the target versus treatment time ( $t$ ): 1 – droplets diameter  $D > 1.5$   $\mu\text{m}$ , 2 – droplets diameter  $D < 1.5$   $\mu\text{m}$ , and 3 – all MPs.

Figure 2 demonstrates the various trends in MP behavior for MP diameters smaller and larger than 1.5  $\mu\text{m}$ . For MPs of more than 1.5  $\mu\text{m}$  in diameter, some stabilization (Figure 2, curve 1) occurs such that for sufficiently long processing times, the large size MP amount is independent of the sample treatment time. Ultimately, a tenfold decrease in the MP surface density is reached for large MPs of more than 1.5  $\mu\text{m}$  in diameter. For MPs of less than 1.5  $\mu\text{m}$  in diameter, there is a rapid reduction in the relative surface MP number density with increasing processing time (Figure 2, curve 2). For a processing time of 18 min, the surface number density for MPs of less than 1.5  $\mu\text{m}$  in diameter decreased 1500-fold. In fact, only individual MPs were observed on the surface after long time processing. Curve 3 in Figure 2 indicates that for processing times of more than  $\sim 10$  min a 67-fold reduction of droplets total number density has been achieved.

The influence of the multiple recharging of MPs in the plasma and the sheath on the reflection of these MPs in a sheath electric field is discussed.

## **SYNTHESIS OF MONOCRYSTALLINE ULTRADISPERSED ZINC OXIDE POWDER**

E.M.Vodopyanov

National Research Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050

E-mail: [headfire94@gmail.com](mailto:headfire94@gmail.com)

There has been a considerable interest in the study of zinc oxide (ZnO) in recent decades. This is a unique functional material with a high electron mobility, a high thermal conductivity, a wide bandgap (3.37 eV) and a large exciton binding energy (60meV) and the richest family of nanostructures among all materials. Due to its unique properties, zinc oxide is widely used in many industries. Optical and electrical properties are used in solar cells, laser diodes, and gas concentration sensors, varistors, TFTs and others. Antibacterial properties, biocompatibility, and the ability to repel ultraviolet radiation are used in the textile and plastics industry, perfumery, cosmetics, medicine [1,4].

Ultradispersed zinc oxide powder was obtained by the universal plasmodynamic method in discharge of a hyperhigh-speed plasma jet. The jet is generated by a pulse highcurrent (the order of 105 A) coaxial magnetoplasma accelerator (CMPA) of the erosion type [5].

The trunk of the accelerator is an external titanium electrode barrel with zinc disks inside, the diameter of the acceleration channel is 9mm, and the length is 190mm. The basic material (Zinc) is generated by electric erosion of the accelerating canal surface then accelerated plasma jet ejected into the reactor chamber filled with oxygen. The electrical supply to the accelerator was carried out with the help of the capacitive energy storage.

Analytical researches of the received products were done by means of roentgen diffractometry methods. According to the obtained data, the powder is composed of more than 99.9% of the zinc oxide phase that indicates the correct choice of experimental energy parameters and confirms the basic assumption about the possibility of this phase synthesis.

Also the product was analyzed by transmission electron microscopy (TEM) which shows the hexagonal structure of single crystal zinc oxide, and most part of the product consists of 200 nm objects.

Based on the results of this work the following conclusion can be made about the possibility of applying the plasmodynamic synthesis method to obtain an ultradispersed powder of single crystal zinc oxide with a crystal structure - hexagonal system.

### **REFERENCES**

1. Ozgur U., Hofstetter D., Morkoc H. // Proceedings of the IEEE. 2010. T. 98. №. 7. C. 1255-1268.
2. Kuo C. L. // Ceramics International. 2010. T. 36. №. 2. C. 693-698.
3. Renganathan B. // optics & laser technology. 2011. T. 43. №. 8. C. 1398-1404.
4. Beek W. J. E., Wienk M. M., Janssen R. A. J. // Advanced Materials. 2004. T. 16. №. 12. C. 1009-1013.
5. A. A. Sivkov, A. Ya. Pak, and I. A. Rakhmatullin, RF Patent No. 2475449. C01B 21/082, C30B 29/38, C30I 30/00, B82B 3/00, B82U 30/00, C01B 31/02.

## **TEMPORAL AND SPATIAL DEPENDENCES IN BEHAVIOR OF ATMOSPHERIC RADON, THORON AND THEIR DECAY PRODUCTS**

A.G. Kondratjeva, V.S. Yakovleva, N.S. Mishina

Lenina Avenue, 30, 634050, Tomsk, Russia

E-mail: [kond\\_alla@tpu.ru](mailto:kond_alla@tpu.ru)

The processes of transport and removal of radionuclides in surface atmosphere and dwellings atmosphere are very different [1]. On the transfer of atmospheric radionuclides influence humidity, wind, precipitation, cyclones, rough

change of weather conditions. To study temporal and spatial dependences in behavior of atmospheric radon, thoron and their decay products was organized continuous automated radon monitoring, which started in 2011 with help of radiometer of radon isotopes and their decay products (SARAD GmbH, Germany). The analysis of seasonal variations of radon activity concentration in the ground atmosphere revealed maximum in spring-summer period and minimum in winter. In diurnal variations minimum appears afternoon and maximum – before noon. These results are in a good agreement with results of other radon investigations. The analysis of changes of equilibrium coefficients between radon and its decay products showed that the annual average value was 0.2 (0.25 in March-April, 0.12 in May, and 0.27 at the end of September). Dynamics of  $F_{Rn}$  in 2011 is shown in Figure 1a (spring season) and 1b (summer-autumn season). Analysis of the  $F_{Rn}$  coefficient dynamics shows that its instantaneous (average within 2 hours - red line) values can vary quite widely from 0 to 1. Significant correlations were revealed between activity concentrations of radon, thoron and some of their short lived decay products at synoptic scale. Other interesting results of our investigation are also reported.

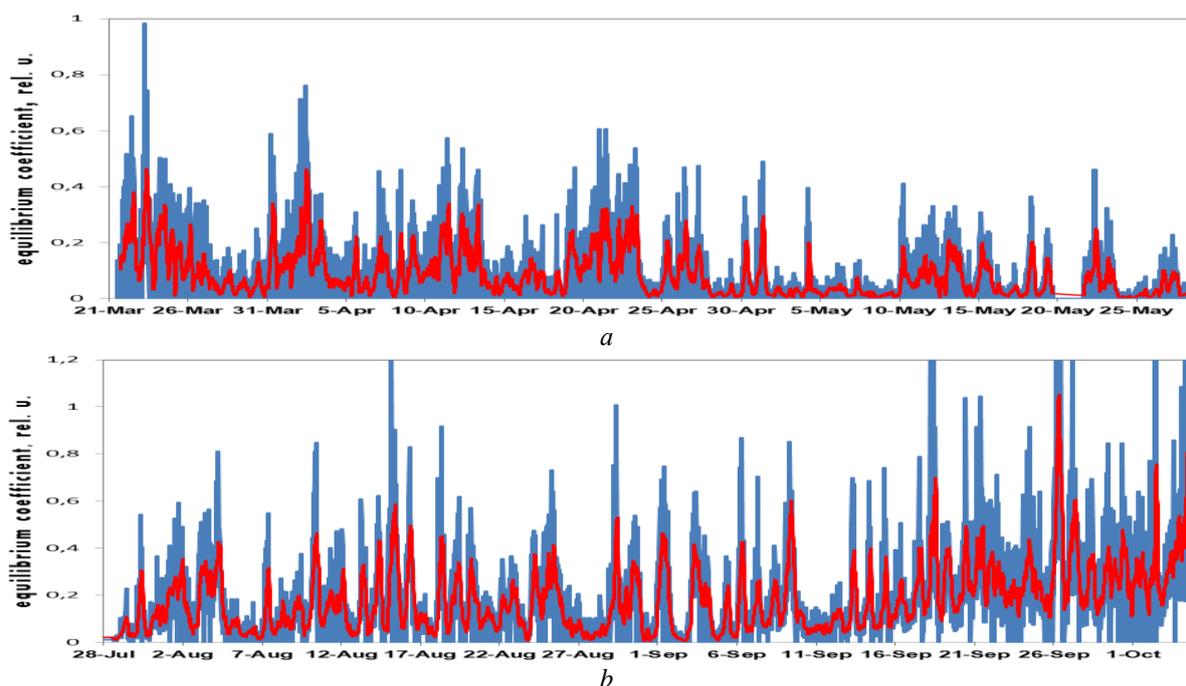


Figure 1. Dynamics of  $F_{Rn}$  in 2011: a) in spring; b) in summer-autumn

Supported by Federal Target Program № 14.575.21.0105

#### REFERENCES

1. Iakovleva V.S., Karataev V.D. Spatial and temporal variations of radon concentration in soil air // Radiation Measurements. – 2001. – Vol. 34 (1-6). – p. 501-504.

#### MAGNETRON SPUTTERING SYSTEM

A.V. Lazarev, M.A. Andreeva, U.A. Smirnova

National Research Technic University,  
Russia, Tomsk, Lenina avenue 30, 634050

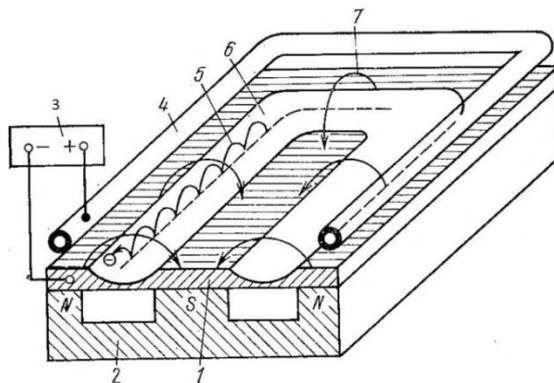
E-mail: [Alefantiy@mail.ru](mailto:Alefantiy@mail.ru)

Thin film coatings have wide application as strengthening, reflective, conductive and dielectric coatings. One of the directions of vacuum-plasma technologies is the deposition of thin film coatings [1]. We consider the technology

of application based on the use of magnetron sputtering system. The advantages of magnetron sputtering systems are even processing of flat surfaces with large area; the available gases used by the system; simplicity of design.

### MAGNETRON SPUTTERING SYSTEM OPERATION

Coating formation is done with sputtering of the target by ions of the working gas in the abnormal glow discharge. The principle of operation of magnetron sputtering system is shown in figure 1. The main elements of MSS are cathode target, anode, magnetic system. The lines of force are closed between poles of magnetic system. The surface of target is placed between the points of entry and exit of the force lines of the magnetic system. The surface is sprayed actively and takes the form of closed track 6. The geometry of track is determined by the form of poles of the magnetic system. The water is supplied in the body of magnetron sputtering system to cool the target [2].



*1 – cathode target; 2 – magnetic system; 3 – power supply unit; 4 – anode; 5 – trajectory of the electrons; 6 – area of erosion of the cathode surface; 7 – force lines of magnetic system.*

*Figure 1. Magnetron sputtering system*

The magnetron sputtering system is placed in a vacuum chamber. The system is electrically isolated from the chamber and the equipment. Working gas is supplied in the chamber after pumping out the air volume. Magnetic trap facilitates the ignition of the discharge, providing electron density greater than in the remaining volume.

### REFERENCES

1. Krivobokov V. P., Sochugov N. S., Solovyov A.A. Plasma coverings (methods and equipment): The manual - Tomsk: Publishing house of TPU, 2008. – 104 p.
2. Danilin B. S., Syrchin V. K. Magnetron sputtering system – M.: "Radio and communication", 1982 – 72 p.

### COMPUTER MODEL OF THE «ASTRA» PULSED ELECTRON ACCELERATOR

M. A. Serebrennikov, I. S. Egorov

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina ave., 30, 634050

E-mail: smakk\_22@mail.ru

Paper shows the process of creating of computational model for a pulsed electron accelerator "ASTRA" [1] (accelerating voltage up to 460 kV, beam current pulse duration of 75 ns (FWHM), pulse energy of up to 10 J for pulse repetition rate of up to 50 pps). Multisim software was used for electrical processes simulation.

The computational model is based on a schematic diagram of the accelerator, complemented with equivalent constructive elements of the accelerator - the parasitic inductance and capacitance. When the amplitude of the voltage pulse is 400-460 kV, the energy up to 20% of total can be accumulated by parasitics. The values of the parasitic

capacities of the high-voltage insulator structure were evaluated by Elcut simulation environment with the using of the finite element method for electric field computation. The computational model of the vacuum electron diode was created. Model is based on the analysis of the experimental curves of the diode impedance for the previously constructed model of the generator [2]. Matching of both models of the generator and the diode allowed simulating of the whole «ASTRA» accelerator. Verification of the accelerator model was carried out by comparing the simulation results and the results obtained experimentally (Fig. 1).

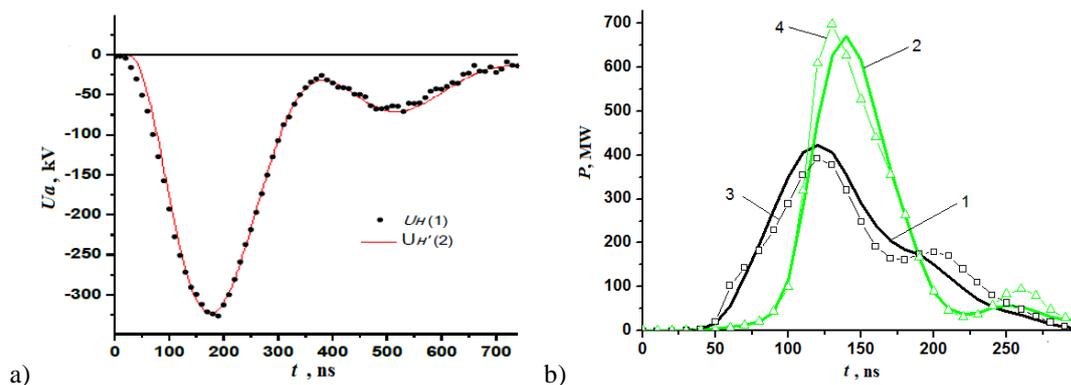


Figure 1 a). Comparison of real (1) and simulated (2) voltage pulses. b). Real (1,2) and simulated (3,4) power pulses in the diode of the accelerator.

The amplitude and the shape of the voltage pulses obtained experimentally and by modelling agree satisfactorily (Fig. 1a). It is found that in determining the power (Fig. 2b) and the value of the energy released in the diode, the error introduced by the model does not exceed 7%.

#### REFERENCES

1. Egorov I., Esipov V., Remnev G., et. al., A high-repetition rate pulsed electron accelerator // Proceedings of the 2012 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference. – San Diego, 2012, – pp. 716-719.
2. Egorov I. S. Note: Numerical simulation and experimental validation of accelerating voltage formation for a pulsed electron accelerator // Review of Scientific Instruments. – 2014. – Vol. 85. – Iss. 6. – P 066112.

#### THE RESERCH OF INFLUENCE OF PLASMA IMMERSION ION IMPLANTATION OF TITANIUM ON HYDROGEN SORPTION OF Zr-2,5% Nb

A.N. Sutygina, E.B. Kashkarov, N.N. Nikitenkov

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina ave., 30, 634050

E-mail: [sutygina2013@mail.ru](mailto:sutygina2013@mail.ru)

Zirconium and its alloys are important constructional materials of light-water nuclear reactors. Under the influence of radiation, radiolysis of water occurs and hydrogen is released, which leads to hydrogen embrittlement. One of the ways of the zirconium alloys protection from hydrogen embrittlement is an ion surface modification. The influence of the plasma immersion ion implantation (PIII) of titanium into Zr-2,5% Nb alloy on its hydrogen sorption is studied in this report.

The samples size: diameter – 30 mm, thick – 1 mm. The surfaces of the samples were polished. The roughness of the samples is 0,567  $\mu\text{m}$ . The titanium implantation into Zr-2,5% Nb was carried out at the installation «Raduga-Spectrum» [1]. The implantation time was 15 min. Samples were pre-cleared in argon plasma at 0,06 Pa pressure during

3 min. The implantation conditions: the arc current  $I = 70$  A, the bias voltage  $U = 1,5$  kV, frequency of impulses – 100 kHz, the pressure – 0,02 Pa. The part of the samples was implanted with a plasma filter, other part without the filter. The samples were saturated with hydrogen on the installation «Gas Reaction Controller» by the Siverst method at  $400^{\circ}\text{C}$  during 120 min. The hydrogen pressure was 1,95 atm. The glow discharge spectrometer «GD-PROFILER 2» was used for the study of the elements distribution in the modified layer.

The sorption results are shown in table 1. From this table it follows that the sorption rate of hydrogen decreases after implantation of titanium in Zr-2,5%Nb. The using of the plasma filter reduces the sorption rate of hydrogen. This may be linked with the large number of microdroplets in plasma when titanium was implanted without the filter that reduces the homogeneity of the modified layer.

Table 1. The rate of hydrogen sorption in Zr-2,5% Nb

Samples	Rate of sorption $\times 10^{-4} \text{ cm}^3 \text{ H}_2 / (\text{sec} \cdot \text{cm}^2)$	
Zr+Ti with the plasma filter	0,73	
Zr+Ti without the plasma filter	2,1	3,9 ( $t > 4000$ sec.)
Zr	6,8	

The depth distribution of the elements shows that the depth of the modified with the filter is  $\sim 250$  nm, without the filter is  $\sim 300$  nm. Also the hydrogen concentration in Zr-2,5%Nb after hydrogenation is lower for the sample with the filter than for the sample without the filter. The obtained modified layer with the filter prevents the penetration of hydrogen.

**Conclusion.** PIII of titanium in Zr-2,5%Nb reduces the rate of hydrogen sorption. The barrier layer is formed during the implantation of titanium with a filter which prevents the penetration of hydrogen into the sample.

#### REFERENCES

1. Le Z., Krasnov D.N. Investigation of hydrogen influence on the titanium nitride coatings by vacuum arc deposition // XII International Conference of Students and Young Scientists «Prospects of Fundamental Sciences Development». – Tomsk, 2014 – V.1 – P. 125–127.

#### CHANGING OF TRACK MEMBRANES CONTACT WETTING ANGLE AFTER LOW-TEMPERATURE ATMOSPHERIC PLASMA TREATMENT

E. O. Filippova, V.F. Pichugin

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [katerinabosix@mail.ru](mailto:katerinabosix@mail.ru)

There are a lot of polymer's materials with low surface energy and surface wettability. One of these materials is polyethylene terephthalate (PET), which is widely used in medicine [1]. Plasma-induced modifying the polymer's surface is the perspective and modern method of modifying the polymer's surface. This method allows changing of the surface morphology and as a result its wettability [2, 3].

This article shows results of plasma-induced modifying the PET track membrane surface, changing of its morphology and wettability. The purpose of research is to study the hydrophilic changes of the track membranes surface properties after exposure to low temperature atmospheric plasma.

Experiments were conducted using a track membrane «TOMTREK» based on PET with pores diameters 0.4  $\mu\text{m}$  and  $5 \cdot 10^6$  pores /  $\text{cm}^2$  density. The pores are formed by irradiating the polymer PET  $40\text{Ar} + 8$  ions with energy 41.5 MeV. After irradiation, the membrane was chemically treated in the alkaline solution. The surface had been

processed by the plasma self-sustained volume discharge to give the surface the hydrophilic properties of the membrane.

Contact angle of wettability the surface track membrane was measured just after the chemical treatment in NaOH, on the first, third, seventh, fourteenth, twenty-first days after plasma modification.

Contact angle of wettability results are shows in table 1.

*Table 1. Contact angles of wettability samples values*

<i>Treatment time</i>	Native samples	first day	third day	seventh day	fourteenth day	twenty-first days
30 seconds	76,9±0.5	33,0±1,25	37,2±3,74	36,8±0,21	37,8±3,41	39,0±2,69
60 seconds	76,9±0.5	31,2±2,25	36,3±3,56	36,9±0,85	39,5±5,24	35,0±0,78
90 seconds	76,9±0.5	26,6±6,07	35,1±3,71	34,3±2,92	37,3±5,2	37,3±3,64

Thus, the plasma treatment of the track membranes surface can change contact surface properties. Low-temperature atmospheric plasma-induced modifying increases hydrophilic surface properties. Hydrophilic properties of the polymer after modification retains over 21 days.

#### REFERENCES

1. Filippova E.O., Sohoreva V.V., Pichugin V.F. Study the possibility of using nuclear track membranes for ophthalmology // Membranes and membrane technology. – 2014. – Т.4, №4. – P. 1-5.
2. Volova T.G. Materials for medicine, cell and tissue engineering / T.G. Volova, Krasnoyarsk: IPK, 2009 – P. 156.
3. Summ B.D. Physico-chemical basis of wetting and spreading / B.D. Summ, U.V. Gorumov, M: Chemistry, 1978 – P. 13.

#### STRUCTURE OF POLYMER NONWOVENS MATERIALS OBTAINED BY ELECTROSPINNING AND SOLUTION BLOW SPINNING

Fomichev A.K., Volokitina T.L.

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: agronianin@mail.ru

Nowadays the perspective polymer materials which can control the structural and functional state of the cells involved in regeneration process are widely researched. The special 3D nonwoven matrixes which can regulate the regeneration processes of living tissues are widely applied for these purposes. Now the method of electrospinning (ES) [1] and method of the solution blow spinning (SBS) [3] are the most effective and promising. The morphology of nonwovens materials is one of the most significant properties defining mechanical properties and further application. The objective of this work is to compare the structure of nonwoven materials obtained by electrospinning to SBS method.

Nonwoven polymer materials were produced from the solution of tetrafluoroethylene and polyvinylidene fluoride copolymer (TeFE-PVDF) in the methylethylketone and dimethylformamide mixture in a ratio of 1:2 (v/v). Nonwoven materials surface morphology was researched with Quanta 200 3D scanning electronic microscope. Fiber diameter of at least 100 fibers was measured by hand with Image J software.

The surface of nonwoven polymer materials formed by electrospinning and SBS method from TeFE-PVDF is shown in Figure 1. These results demonstrate that nonwoven polymer materials obtained by electrospinning consist of

single unaligned nanofibers with an average diameter of  $(0.37 \pm 0.14) \mu\text{m}$  that are tightly packed and heavily intertwined. The materials formed by SBS show complex dimensional structure, mostly with loosely packed bundles aligned microfibers with an average diameter of  $(0.54 \pm 0.20) \mu\text{m}$ . They form the beams with the size from 1, 2 to 12, 8  $\mu\text{m}$  depending on their quantity.

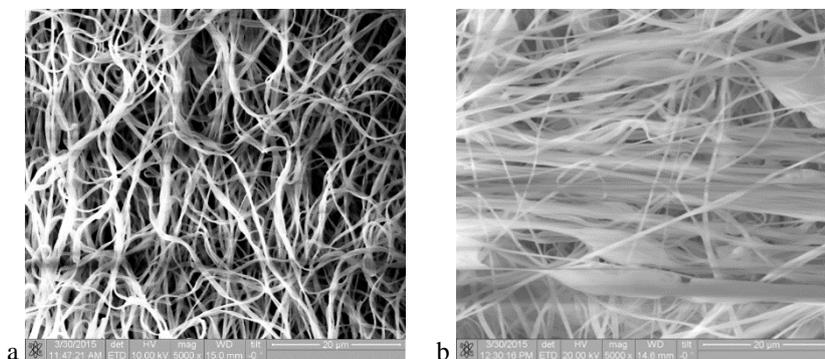


Figure 1. SEM images of nonwovens materials formed by ES (a) and SBS (b) methods at  $5000\times$  magnification

Electrospinning materials can be used as membranes and western blot as they have narrower distribution of fiber diameters. SBS nonwoven materials with their characteristics globules are suitable for certain biomedical application where the main fibers provide a large surface area and globules act as a drug reservoir for controlled release of biomolecules.

#### REFERENCES

1. Reneker D.H., Yarin A.L. Electrospinning jets and polymer nanofibers // Polymer. – 2008. – V. 49. – N. 10. – P. 2387-2425.
2. Subbiah T., Bhat G.S., Tock R.W., Parameswaran S., Ramkumar S.S. Electrospinning of nanofibers // Journal of Applied Polymer Science. – 2005. – V. 96. – N. 2. – P. 557-569. doi:10.1002/app.21481.

#### GUIDE FOR CALIBRATION OF $\alpha$ -, $\beta$ - AND $\gamma$ -RADIATION DETECTORS USED FOR SOIL RADON MONITORING

M.S. Cherepnev, A.G. Kondratjeva, A.A. Stepanenko  
Tomsk Polytechnic University,  
Lenina Avenue, 30, 634050, Tomsk, Russia  
E-mail: [maxcherepnev@tpu.ru](mailto:maxcherepnev@tpu.ru)

Investigation of the radioactive soil gas radon dynamics, basically is used for short-term forecasts of the earthquakes in many countries. Methods of measurements are differing by types of registered ionizing radiation. For continuous soil radon monitoring the methods of ionizing radiation registration by using detectors operated in counting regime, are placed straight in the boreholes. These methods are cheaper by 1-2 times as opposed to methods based on alpha spectrometry, and this fact is allows to building of the network of radon monitoring stations. The other reason is that they allow getting, processes and analyzing data in quasi-real time scale. However, reliability of obtained results and methods of direct radon measurements in boreholes by the ionizing radiation was not investigated. Transfer of pulse counting rate into units of radon volumetric activity is made with multiplication on the correction coefficient, which is determined by comparison with results of certified radiometer in short and usually single experiment. The main task of this research was checking of reliability of radon measurement methods by direct registration of ionizing radiation in soil [1, 2]. Potential problems in detector calibration procedure and determining of correction coefficients based on revealed asynchronous behavior of radon and ionizing radiation time series are examined.

The results of calibration of  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\gamma$ -radiation scintillation detectors (ATOMTEX, Republic of Belarus) mounted into boreholes at depths of 0.5 and 1 m, which are destined for soil radon monitoring, are represented. The radon isotopes radiometer based on semiconductor alpha spectrometry (SARAD GmbH, Germany) was used for the calibration aim.

On the whole, time variations of  $\alpha$ -particles flux density (FD) at depths of 0.5-1 m badly reflect soil radon dynamics as to diurnal variations and its amplitude. Good synchronism between  $\alpha$ -particles FD and radon volumetric activity (VA) time series measured at the same depth was observed only when positive atmosphere temperature and absence of precipitations. It was found a good synchronism in  $\beta$ -particles FD and radon VA changes at depth up to 1 m for daily and synoptic scales. But for certain days a little time shift between  $\beta$ - and radon time series was observed. Maximum in soil radon diurnal variations is usually observed at 16-18 o'clock at 0.5 m depth, and at ~ 24 o'clock at 1 m depth.

Consideration must be given to nonlinear relationship between  $\beta$ -particles FD and radon VA values when determination of calibration coefficients.

In more details questions of the calibration is show in the paper.

*Supported by Federal Target Program № 14.575.21.0105*

#### REFERENCES

1. Yakovleva V.S., Parovik R.I. Solution of diffusion-advection equation of radon transport in many-layered geological media // Nukleonika. – 2010. – Vol. 55 (4). – p. 601-606.
2. Yakovleva V.S. Dynamics of radon and its decay products inside an accumulative chamber // Nukleonika. – 2010. – Vol. 55 (4). – p. 595-600.

#### A VACUUM ARC CATHODE MAGNETIC FIELD AND A SUBSTRATE BIAS INFLUENCE ON A MACROPARTICLE CONTENT DECREASING

A.I. Ryabchikov, P.S. Ananjin, D.O. Sivin, A.E. Shevelev, S.G. Zhelomsky

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenina 2, bldg. 4, 634050

E-mail: [shevelevae@tpu.ru](mailto:shevelevae@tpu.ru)

The results of an experimental study of the influence of normal and tangential to the cathode surface magnetic field and short-pulsed high-frequency negative bias applied to substrate immersed in a DC copper vacuum arc plasma are presented. It was found that the macroparticle (MP) surface density depends on the magnetic field, the bias parameters and the processing time.

The experimental data of the MP amount on the steel sample after copper plasma deposition using normal to the cathode surface magnetic field are presented in Fig.1. Without negative bias total number of MPs on substrate surface increases gradually (Fig. 1, curve 1). Application of short-pulsed high-frequency negative bias significantly affects on MPs surface density and dynamic of their assembling on the substrate during the treatment time (Fig. 2, curve 2). Maximal amount of copper droplets can be observed after 3 minutes of deposition then MPs surface density starts to decrease. Total reduction of MPs was 3.7 times after 30 second and almost 12 times after 6 minutes of a treatment.

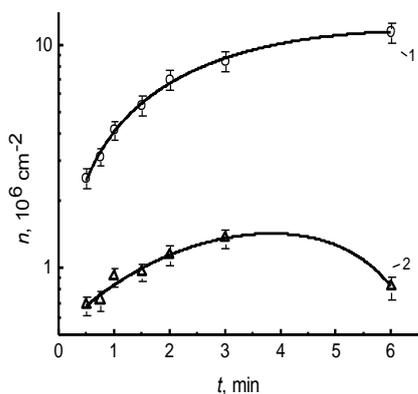


Figure.1. Dependence of MP surface number density on processing time at anode (1) and negative bias (2) potential ( $7 \mu\text{s}$ ,  $10^5$  p.p.s.,  $-2 \text{ kV}$ )

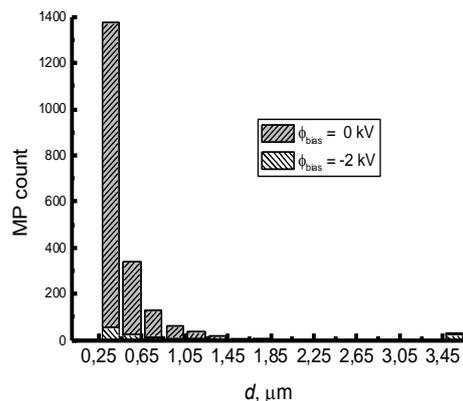


Figure.2. Size distribution histogram for copper MPs on the substrate surface after 6 min of plasma deposition with  $\phi_{\text{sub}} = 0$  and  $\phi_{\text{sub}} = -2 \text{ kV}$

To estimate efficiency of different sizes MPs reduction all samples were scanned with electron microscope and analyzed in details. The size distribution histogram for samples with anode and negative bias after 6 minutes of deposition are presented in fig.2. The experimental data shows that applying of short-pulsed high-frequency negative bias is effective to deleting of MPs with diameter less than  $1 \mu\text{m}$  (up to 25 times after 6 minutes) and very limitedly affects on micron-sized MPs decreasing on a sample surface.

The investigation of a tangential magnetic field influence on MPs surface density decreasing in case of anode and negative repetitively pulsed substrate bias are presented.

## АССИМЕТРИЧНЫЕ ТРЕКОВЫЕ МЕМБРАНЫ С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Т.К. Ахметшарипова, А.А. Дюсембекова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Email: [Tamina.Akhmetsharipova@mail.ru](mailto:Tamina.Akhmetsharipova@mail.ru),

Фильтрация представляет собой эффективный путь достижения чистоты технологических сред. Среди фильтрующих материалов, используемы в этом процессе, важное место занимают Трековые мембраны (ТМ), изготавливаемые облучением полимерных пленок пуском заряженных частиц и последующим химическим травлением материала области треков этих частиц до получения сквозных пор [1]. Основными отличительными свойствами ТМ являются малая толщина, высокая селективность разделения. Это обуславливает их широкое применение в медицине, электронной промышленности, биотехнологии. Поэтому, создание ассиметричных трековых мембран (АСТМ) с диаметрами пор  $0,2 \text{ мкм}$  для прецизионной фильтрации растворов солей и биологических жидкостей является актуальностью работы. В работе использованы ТМ, изготовленные из двухосноориентированной полиэтилентерефталатные пленки (ПЭТФ) марки ПЭТ - М. На основе, проведенных исследований созданы образцы химически стойкой ТМ. Структура пористой мембраны формировалась при облучении ПЭТФ пленкой ионами аргона с энергией  $41 \text{ МэВ}$  с последующей термической предобработкой и

химическим травлением. Трековая мембрана на основе ПЭТФ может быть использована для разделения солей сольватированных ионов, для биосенсоров применяемых в анализе малых количеств биологических жидкостей.

В данной работе представлены результаты исследования возможности синтеза АСТМ на матричной трековой основе пленок ПЭТФ, облученных ионами аргона [2]. Для решения этой задачи использованы методы облучения мембранных матриц ПЭТФ  $^{40}\text{Ar}^{+8}$ , катодное распыление, магнетронное распыление, резерфордское обратное рассеяние, одностороннее и двустороннее травление.

Исследованные поверхностные свойства АСТМ после обработки в плазме и после прививки мономеров наблюдались на сканирующем электронном микроскопе. Наблюдается уменьшение размеров пор за счет увеличения толщины привитого слоя на стенках цилиндрических отверстий.

Были проведены исследования процесса обессоливания модельного раствора морской воды при фильтрации АСТМ, найдены условия осаждения полимерных и оксидных пленок, при которых формируется пористая структура, получены экспериментальные зависимости скорости осаждения от времени и температуры, исследован процесс травления треков в ТМ с нанесенным покрытием, получены экспериментальные зависимости скорости травления треков от температуры при одностороннем травлении треков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сохорева В.В. Трековые мембраны: особенности получения модификация мембранных свойств темплетные металлические микроструктуры // Изв. Вузов. Физика. – 2007. – Т.5. - № 10/3. – С. 275.
2. Г.Н. Флеров. Синтез сверхтяжелых элементов и применение методов ядерной физики в смежных областях // Вестник АН СССР. - 1984. – Т.1. - № 4. - С. 35 – 48.

#### СЕЧЕНИЕ И ФУНКЦИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ РЕАКЦИИ $^{186}\text{W}(d,2n)^{186}\text{Re}$

А.А. Баулин, В.М. Большаков, В.М. Головков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: baulin.91@mail.ru

Перспективным терапевтическим нуклидом, который позволяет в процессе терапии проводить диагностику его распределения в организме методом однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ), является  $^{186}\text{Re}$ .

Известно, что  $^{186}\text{Re}$  можно получить при облучении мишени, обогащенной  $^{185}\text{Re}$ , нейтронами в ядерном реакторе, однако при этом  $^{186}\text{Re}$  получают с носителем и недостаточной для применения в радиоиммунотерапии удельной активностью.

Для получения  $^{186}\text{Re}$  без носителя с высокой удельной активностью, необходимо использовать ядерные реакции на заряженных частицах [1,2]

Цель данной работы получение экспериментальных данных о сечении реакции  $^{186}\text{W}(d,2n)^{186}\text{Re}$  и оценка возможности наработки  $^{186}\text{Re}$  с использованием циклотрона Р-7М.

Толстую мишень из металлического вольфрама природного изотопного состава бомбардировали дейтронами с энергией  $E_d = 13,6$  МэВ. В качестве монитора пучка использовали  $\text{Ti}$  фольгу, помещенную перед мишенью. Энергия дейтронов на поверхности вольфрама была равна  $E_d = 12,5$  МэВ. После облучения мишень подвергали послойному травлению в смеси азотной и плавиковой кислот и измеряли активность  $^{186}\text{Re}$  в растворе, полученном при травлении каждого слоя.

На рис. 1 приведено полученное сечение реакции  $^{186}\text{W}(d,2n)^{186}\text{Re}$ , которые неплохо согласуются с данными других авторов [3]. Выход  $^{186}\text{Re}$  для  $E_d = 12,5$  МэВ и толстой мишени из природного металлического вольфрама, оказался равен  $(2.3 \pm 0.1)$  МБк/мкАч. Для мишени из обогащенного  $^{186}\text{W}$  выход равен  $(8.2 \pm 0.3)$  МБк/мкАч.

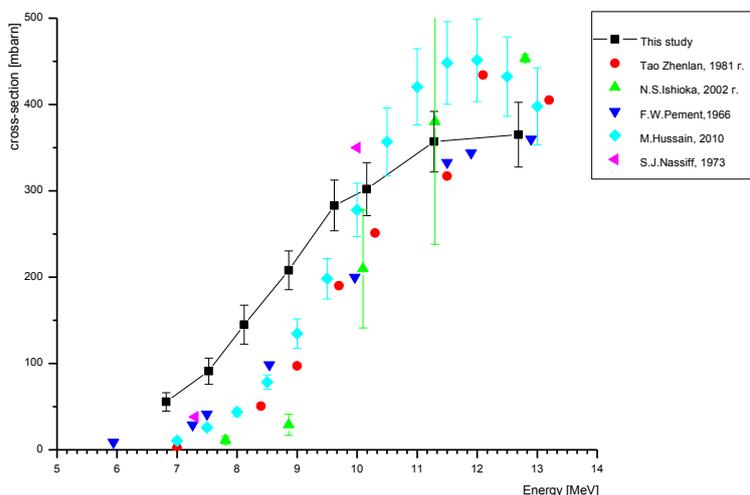


Рисунок 1. Сечение реакции  $^{186}\text{W}(d,2n)^{186}\text{Re}$

Полученные данные подтверждают возможность наработки до 4-5 ГБк  $^{186}\text{Re}$  за 10-12 часов облучения мишени из обогащенного  $^{186}\text{W}$  на низкоэнергетическом циклотроне типа Р-7М для получения терапевтических радиофармацевтических препаратов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изотопы: свойство, получение, применение. В.2 т. Т. 2./ Под ред. В.Ю. Баранова. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 728 с.
2. Alekseev I.E., Lazarev V.V. Cyclotron production and radiochemical isolation of the therapeutical radionuclide  $^{186}\text{Re}$ , Radiochemistry. – v.48 (2006) .- p. 446.
3. Рекомендуемые сечения  $^{186}\text{W}(d,2n)^{186}\text{Re}$  реакции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www-nds.iaea.org/radionuclides/w86d6re0.html>

#### ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ $^{111}\text{In}$ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

В.М. Головков, А.А. Гарапацкий, А.М. Большаков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [golovkov@tpu.ru](mailto:golovkov@tpu.ru)

Радиофармацевтические препараты на основе радионуклида  $^{111}\text{In}$  относят к числу наиболее широко используемых в ядерной медицине [1].  $^{111}\text{In}$  применяют для меченя клеточных компонентов крови, моноклональных антител, обнаружения патологий миокарда, локализации абсцессов циститов почек, радиоиммунноглобулиновой терапии, визуализации очагов воспаления, опухолей в онкологии и в других областях [2-3]. Радионуклид  $^{111}\text{In}$  представляет интерес также и для радионуклидной терапии онкологических заболеваний, поскольку он испускает Оже-электроны, имеющие высокую линейную передачу энергии (ЛПЭ), сопоставимую с ЛПЭ  $\alpha$ -частиц.

В данной работе рассмотрены особенности получения  $^{111}\text{In}$  с использованием классического циклотрона Томского политехнического университета типа Р7М, с целью обеспечения медицинских учреждений Восточной части России РФП на его основе.

С учетом, того что энергия пучка протонов в циклотроне равна 11 МэВ для производства  $^{111}\text{In}$  была выбрана реакция  $^{111}\text{Cd}(p, n)^{111}\text{In}$ . Приемлемая наработка активности  $^{111}\text{In}$  может быть получена только на обогащенном по изотопу  $^{111}\text{Cd}$  ( $95,92 \pm 0,06\%$ ) металлическом кадмии.

Облучение мишени проводили в ускорительной камере, используя внутреннюю охлаждаемую мишень. В качестве мишени использовали медную пластину, покрытую 10 мкм слоем золота в качестве подложки, на которую наносили металлический кадмий. Внутренняя мишень крепилась на отдельном штоке источника ионов. Ток пучка протонов в камере, по крайней мере, в 2 раза больше, чем в выведенном пучке и достигает 60–80 мкА.

Для уменьшения тепловой нагрузки мишень ориентировали под углом  $6^\circ$  к пучку. Это позволило увеличить поверхность мишени и уменьшить физическую толщину мишенного материала без изменения пробега протонов в нём.

После облучения кадмий растворяли в 6N HBr,  $^{111}\text{In}$  экстрагировали в диизопропиловый эфир, затем экстрагировали в 8M HCl, высушивали до сухого осадка. Осадок содержащий  $^{111}\text{In}$ , растворяли в 0.05M HCl и получали готовый препарат, который по качественным показателям, соответствует требованиям к препарату «Индия хлорид, [ $^{111}\text{In}$ ]», субстанция-раствор для приготовления радиофармацевтических препаратов

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lahiri S., Maiti M., Ghosh K. Production and separation of  $^{111}\text{In}$ : an important radionuclide in life sciences: a mini review // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 2013. – V.297. – P. 309–318.
2. Jalilian A.R., Garousi J., Akhlaghi M., Rowshanfarzad P. Development  $^{111}\text{In}$  labeled insulin for receptor imaging/therapy // J. Radioanal Nucl Chem. – 2009. – V.279. – P. 791–400.
3. Tolmachev V., Feldwisch J., Lindborg M., A influence of an aliphatic linker between DOTA and synthetic ZHER2:342 affibody molecule on targeting properties of the  $^{111}\text{In}$ -labeled conjugate // Nucl Med Biol. – 2011. – V.38. – № 11. – P. 697–706.

#### РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЙ ПЕРЕНОС ВОДОРОДА В МЕТАЛЛАХ

А.С. Долгов, Ю.И. Тюрин, Н.Н. Никитенков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, Томская область, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634034

E-mail: [ellsworth@tpu.ru](mailto:ellsworth@tpu.ru)

Поведение водорода в металлах является актуальной научно-технической проблемой для широкого круга задач фундаментального и прикладного характера. Интерес к вопросам водородопроницаемости и накопления водорода постоянно растет в связи с необходимостью выбора новых конструкционных материалов для ядерной, термоядерной и водородной энергетики и решения широкого спектра материаловедческих задач [1–6]. Установлено, что посредством радиационного облучения, управляя концентрацией водорода в объеме твердых тел можно создавать неравновесные термодинамические системы, синтез которых традиционными методами невозможен [7–9].

В работе рассмотрены процессы диффузии и выхода водорода (дейтерия) из металлов в атомарном, молекулярном и ионизированном состояниях, при воздействии электронного пучка и рентгеновского излучения в допороговой области энергий. Изучена зависимость интенсивности выхода изотопов водорода от плотности

тока и энергии электронного пучка, концентрации водорода в объеме материалов и времени радиационного воздействия на образец. Исследованы энергетические распределения испускаемых положительных ионов изотопов водорода. Рассмотрены модели механизмов радиационно-стимулированного переноса водорода в металлах.

Исследования поведения водорода в металлах при воздействии ионизирующего излучения показывают:

- водород в металлах образует собственную водородную подсистему;
- водородная подсистема в металлах в процессе воздействия ионизирующего излучения переходит в возбуждённое состояние;
- мигрирующий водород стимулирует диффузию дефектов и примесных атомов и упорядочивает структуру металлов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюрин Ю.И., Чернов И.П. Аккумулирующие свойства водорода в твердом теле. –М.: Энергоатомиздат, 2000, 258 с.
2. Крачино Т.В., Кузьмин М.В., Логинов М.В., Митцев М.А. // ФТТ. – 1998. – Т. 40. –С. 371–378.
3. Овчинников В.В. // УФН, – 2008. – Т. 178, – С.991–1001.
4. Prognimak A.M. // J. Hydrogen Energy. – 1995. – V. 20. – P. 449-453.
5. Evard E.A., Gabis I.E., Voyt A.P. // J. Alloys Compounds. – 2005. – V.404–406. – P. 335–338.
6. Нечаев Ю.С. // УФН, – 2008, –Т.178, – С.709-726.
7. Спивак Л.В. // УФН, – 2008, –Т.178, – С.897-922
8. Гапонцев А.В., Кондратьев В.В. // УФН, – 2003, –Т.173, –С.1108-1129.
9. Максимов Е.Г., Панкратов О.А. Водород в металлах // УФН, –1975. –Т.116. – С.385-400.

#### СОЗДАНИЕ ПРОТОНОПРОВОДЯЩЕЙ МЕМБРАНЫ РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ПЛЕНКИ ПВДФ

А.А. Дюсембекова, В.В. Сохорева, Н.А. Дуброва

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [aad38@tpu.ru](mailto:aad38@tpu.ru)

В настоящее время методы радиационно-химической прививки мономеров к полимерной матрице с помощью  $\gamma$ -излучения и электронных пучков хорошо известны и представляют большой интерес для модификации различных функциональных материалов и ионообменных мембран.

В представленной работе приведены результаты радиационно-химической модификации тонких пленок ПВДФ с помощью ионов  $^4\text{He}$  с целью создания протонопроводящей мембраны для низкотемпературных топливных элементов. Прививка проводилась облучением образцов тонкой пленки ПВДФ, помещенных в раствор мономер стирола-толуол, в соотношении 1:1, с последующей термической выдержкой при температуре  $60^\circ\text{C}$ . Источником излучения служили ионы  $^4\text{He}$  с энергией 27 МэВ, полученные с помощью циклотрона R-7М ФТИ ТПУ. Интегральная степень прививки определялась гравиметрически.

Результаты исследования показали, что степень прививки мономера стирола зависит от количества свободных радикалов, образующихся в образцах из-за разрыва ковалентных связей в следствии высокой ионизации ионов гелия. Увеличение дозы приводит к резкому увеличению свободных радикалов в матрице полимера, что было подтверждено результатами ИК-спектроскопии. Степень прививки образцов с поглощенными дозами свыше 4 МГр достигала 300 %, что приводило к их разрушению. Исследования

показали, что наилучшие результаты достигаются при дозах 3-3,5 МГр. Следует также отметить, что изменением энергии ионов  $^4\text{He}$  можно регулировать образование свободных радикалов по глубине образца.

Полученные результаты позволяют рассматривать метод радиационно-химической прививки мономера стирола к пленкам ПВДФ с использованием ионов  $^4\text{He}$ , с последующим сульфированием для придания протон-проводящих свойств, как возможность создания функциональной мембраны, которая успешно может применяться и в топливных элементах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Joon-Yong Sohn, Hae-Jun Sung, Joo-Myung Song, Junhwa Shin, Young-Chang Nho Radiation-grafted proton exchange membranes based onco-grafting from binary monomer mixtures into poly(ethylene-co-tetrafluoroethylene) (ETFE) film Radiation // Physics and Chemistry. -2012. – Vol. 81. – p. 923–926
2. Головков В. М. , Сохорева В. В. , Тюрин Ю. И. , Сигфуссон Т. -. Получение полимерной электролитной мембраны для топливного элемента методом радиационно-химической обработки пленки ПВДФ // Известия вузов. Физика. - 2012 - Т. 55 - №. 11/3. - С. 227-232
3. Sokhoreva V. V. , Golovkov V. M. , Dubrova N. A. , Sidko D. F. Laws of Radiation Grafting of Styrene to PVDF Films and Characterization of the Grafted Polymer // Advanced Materials Research. - 2015 - Vol. 1084. - p. 42-45

#### ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ НА ФТОРСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНКИ ПВДФ

А.А. Дюсембекова, Т.К. Ахметшарипова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [aad38@tpu.ru](mailto:aad38@tpu.ru)

Образование свободных радикалов в полимере является процессом деструкции в качестве метода модификации полимерных материалов. Свободный радикал – вид молекулы или атома, способный к независимому существованию и имеющий один или два неспаренных электрона. Неспаренный электрон занимает атомную или молекулярную орбиталь в одиночку. Наличие неспаренного электрона способно значительно усилить реакционную способность.

В данной работе проводилась радиационная деструкция полимерной пленки – поливинилиденфторид (ПВДФ) для образования в ней свободных радикалов. Под действием ионизирующего излучения происходит отрыв подвижного атома от макромолекулы ПВДФ с образованием свободного радикала. Рекомбинация макрорадикала в конечном счете приводит к образованию разветвленного и сшитого полимера [1].

Радиационная деструкция пленок проходила под влиянием альфа-излучения (ионы гелия), также при непрерывном и импульсном облучении электронами.

Фторированный полимер ПВДФ облучался тремя видами ионизирующего излучения: ионами гелия с энергией 27 МэВ, постоянным пучком электронов с энергией 2 МэВ и импульсным электронным пучком с энергией 500 кэВ. Время облучения и ток выбирались таким образом, чтобы доза ионизирующего излучения приблизительно была одинаковой. Доза варьировалась от 0,5 до 1,5 МГр. Облучение проводилось методом «пост-эффекта» на воздухе.

Наличие свободных радикалов установили с использованием УФ- и ИК-спектрального анализа, а выход определяли методом электронного парамагнитного резонанса, основанный на образовании спиновых аддуктов. При сравнении полученных результатов большое количество радикалов образовалась при облучении

ионами гелия, так как они обладают более высокой степенью ионизации. Это было также подтверждено последующей прививкой к этим радикалам мономера стирола и гравиметрическими измерениями [2].

Данное исследование позволяет разработать метод модификации пленок ПВДФ для придания ему протонпроводящих свойств и использования в качестве функциональной мембраны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головков В.М., Сохорева В.В., Тюрин Ю.И., Сигфуссон Т.И. Получение полимерной электролитной мембраны для топливного элемента методом радиационно-химической обработки пленки ПВДФ // Вузов. Физика. – Томск, 2013. – Т.54. – № 11/3. – С. 120-125.
2. Sohn J.-Y., Sung H.-J., Song J.-M., S.Junh, Nho Y.-C. Radiation-grafted proton exchange membranes based onco-grafting from binary monomer mixtures into poly(ethylene-co-tetrafluoroethylene) (ETFE) film // Radiation Physics and Chemistry. – 2012. – №81. – P. 923–926.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОННЫХ ПОЛЕЙ

В.А. Варлачев, А.В. Головацкий, Е.Г. Емец, Я.А. Бутько

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [emeceveniy@tpu.ru](mailto:emeceveniy@tpu.ru)

Часто при проведении исследований в области радиационных технологий необходимо осуществлять контроль за флюенсом как тепловых, так и быстрых нейтронов. Активационные методы [1] наиболее универсальны и позволяют определять абсолютные значения флюенса нейтронов без дополнительной калибровки. Тем не менее, они очень трудоемки и требуют наличия специальной аппаратуры. Их часто используют для калибровки других способов измерений флюенса нейтронов, кроме того нет возможности использовать такие детекторы в качестве детекторов сопровождения эксперимента. При облучении монокристаллов кремния тепловыми нейтронами за счет реакции радиационного захвата образуется кремний – 31, который путем  $\beta$ -распада (период полураспада -2,62 часа) превращается в донорную примесь фосфора – 31.



Для измерения абсолютных значений флюенса тепловых нейтронов нами было предложено облучать кремний в кадмиевом экране и без него, как это делается в активационном способе, используя его наработки по методу кадмиевой разности [1].

Связь между набранным флюенсом и изменением электрофизических параметров монокристалла описывается полученным нами выражением [2]:

$$\Phi_{m.n.} = \frac{d(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0})}{Se\mu_n \chi_t g_t \Sigma_t} (1 - \frac{F_{Cd}}{R_{Cd}}), \quad (2)$$

где  $d$  - диаметр пластины,  $R_0, R$  - интегральное сопротивление пластины до и после облучения,  $S$  - площадь пластины,  $e$  - заряд электрона,  $\mu_n$  - подвижность электронов,  $g_t$  - фактор Весткотта,  $\Sigma_t$  - макроскопическое сечение реакции при энергии нейтрона, соответствующей некоторой эффективной температуре  $T_{эф}$ , отличной от температуре среды  $T_0$ ,  $F_{Cd}$  - кадмиевая поправка,  $R_{Cd}$  - кадмиевое отношение.

Следует отметить, что под действием быстрых нейтронов в монокристаллическом кремнии образуются различного рода дефекты в его кристаллической решётке. Они вызывают изменение электрической

проводимости кристалла. Тогда флюенс быстрых нейтронов можно оценить, используя следующее выражение [3]:

$$\Phi_{\sigma_{н.}} = \kappa(\sigma_0 - \sigma), \quad (3)$$

где  $\sigma_0$ ,  $\sigma$  - удельные электропроводимости кристалла до и после облучения быстрыми нейтронами,  $\kappa$  - коэффициент пропорциональности, определяемый экспериментально для каждого спектра.

Возможность осуществления данных способов измерения ядерно-физических характеристик нейтронных полей подтверждается данными экспериментов, проведенных на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т мощностью 6 МВт. Важным преимуществом данных способов перед методами нейтронно-активационного анализа заключается в том, что такие детекторы могут сохранять физическую информацию бесконечно долго, а в случае нанесения омического контакта могут быть использованы как детекторы сопровождения эксперимента как на ядерных реакторах, так и на ускорителях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С., Тихонов Е.Г. Активационные методы спектрометрии нейтронов. М., Атомиздат, 1976, 232 с.
2. Варлачев, В. А., Солодовников Е.С. Влияние быстрых нейтронов на проводимость монокристаллического кремния // Изв. вузов. Сер. Физика. – 2009 № 6. – С33-37.
- Варлачев В. А., Емец Е. Г. Солодовников Е. С. // Изв.вузов.Физика.- 2009. - № 11/2. – с. 409 – 412.

#### ИЗМЕРЕНИЕ ДОЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ И ГАММА-ИСТОЧНИКОВ

Г.К. Жаксыбаева, И.А. Милойчикова, С.Г. Стучебров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: gulnur-1211@mail.ru

Ионизирующие излучения широко используются в современных методах обследования и лечения в медицине, также во многих других прикладных областях. Количество приборов, в которых применяются источники ионизирующего излучения, число различных ускорительных установок возрастает с каждым днем. Сегодня широкое распространение получили цифровые системы визуализации, основанные на применении ионизирующего излучения. Многоканальные детектирующие системы широко применяются как в сферах неразрушающего контроля, так и при проведении медицинских обследований.

На сегодняшний день существует широкий спектр различных источников рентгеновского и гамма-излучения, предназначенных для таких исследований, однако их использование имеет ограничения, связанные с дозовыми нагрузками на объекты исследования, особенно в случаях исследования биологических объектов. При работе с биологическими объектами максимально допустимые значения поглощенных доз не всегда позволяют выбирать желаемые интенсивности излучения. Это создает сложности при проведении таких обследований, а зачастую делает их недопустимыми. Таким образом, определение пространственных дозиметрических характеристик источников рентгеновского и гамма-излучения имеют высокую практическую ценность.

Целью данной работы являлась оценка дозовых характеристик импульсного рентгеновского генератора РАП-106-5 и импульсного тормозного излучения бетатрона ОБЬ-4.

В работе проведена оценка дозовых нагрузок от импульсного рентгеновского генератора РАП-160-5 с помощью термолюминесцентных дозиметров ДТЛ-02, дозиметра-радиометра ДКС-96, сцинтилляционного дозиметра ДРГЗ-04, плоскопараллельной ионизационной камеры типа 23342; проведен анализ пространственного распределения мощности дозы импульсного рентгеновского генератора РАП-160-5. В данном исследовании были измерены дозовые характеристики импульсного тормозного излучения бетатрона ОБЬ-4 с использованием термолюминесцентных дозиметров ДТЛ-02 и цилиндрической ионизационной камеры типа 30013.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по эксплуатации: «Аппарат рентгеновский переносной для промышленного применения». – Томск: Фотон, 2008. – 34 с.
2. Паспорт: «Индукционный циклический ускоритель ОБЬ». – Томск: Бетта Плюс, 2010. – 15 с.
3. Паспорт ЖБИТ2.805.006РЭ: «Дозиметры термолюминесцентные ДТЛ-02». – М.: Доза, 2012. – 13 с.
4. Руководство по эксплуатации ТЕ 1.415313.003РЭ: «Дозиметры-радиометры ДКС-96». – М.: Доза, 2012. – 62 с.
5. Паспорт ЖШ 1.287.624 ПС: «Дозиметр ДРГЗ-04». – Ленинград: Промприбор, 1986. – 41 с.
6. Instruction manual “Soft X-ray chamber Type 23342”. – Freiburg: PTW, 2013. – 16 p
7. User Manual “Ionization Chamber Type 30010, 30011, 30012, 30013”/ – Freiburg: PTW, 2013. – 16 p.

#### ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ С ВЫСОКИМ Z В ТЕХНОЛОГИИ ФОТОН-ЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

П.В. Ижевский, И.Н. Шейно

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России,

Россия, г. Москва, ул. Живописная, 46, 123182

E-mail: [izhevski@rambler.ru](mailto:izhevski@rambler.ru)

Принцип фотон-захватной терапии (ФЗТ) основан на увеличении локального энерговыделения в биологической ткани при облучении и при наличии в ней элементов с высоким зарядовым числом  $Z$ . Дополнительное выделение энергии обусловлено электронами фотопоглощения и сопутствующего Оже-каскада на атомах таких элементов как йод -  $^{53}\text{I}$ , гадолиний -  $^{64}\text{Gd}$ , платина -  $^{78}\text{Pt}$ , золото -  $^{79}\text{Au}$ , висмут  $^{83}\text{Bi}$ .

Для клинического применения метода ФЗТ необходимы: препараты, содержащие указанные элементы; средства их доставки; терапевтические устройства, обеспечивающие облучение «мишени» фотонным излучением в требуемом диапазоне энергий; компьютерные программы для планирования сеанса облучения.

В настоящее время в клинической практике широко применяются препараты, содержащие элементы с высоким  $Z$ , например, йод содержащие: йод-дезоксисуридин, IudR; гадолиний содержащие: Магневист, Дипентаст; содержащие платину: Цисплатин, Карбоплатин. Перспективными считаются препараты, содержащие наночастицы золота. Таким образом, использование уже существующих препаратов в технологии ФЗТ, в сочетании со сравнительно низкой стоимостью облучательной аппаратуры, создаёт предпосылки для массового применения этой технологии в клинической практике.

В результате проведенных расчетных и экспериментальных исследований подтверждена и количественно оценена величина физического эффекта локального возрастания поглощенной дозы в биологической ткани при наличии в ней элементов с большим  $Z$  [1,2]. Экспериментальными исследованиями на мышцах с перевивными опухолями показана эффективность метода ФЗТ [3].

Для скорейшего внедрения ФЗТ в клиническую практику необходимы провести комплекс исследований по определению концентрации атомов с высоким  $Z$  в мишени и оценке влияния спектральных характеристик, имеющихся терапевтических облучательных установок на эффективность этой технологии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.В. Щегольков, И.Н. Шейно, В.Ф.Хохлов, А.А. Липенгольц. Моделирование распределений поглощенной дозы методом Монте-Карло в технологии фотон-захватной терапии. // Медицинская физика, 2010, № 4, с. 12-16.
2. И. Н. Шейно, П.В. Ижевский, А.А. Липенгольц. Обоснование принципа фотон-захватной терапии злокачественных новообразований. // Саратовский научно-медицинский журнал. 2013. Т. 9, № 4, стр. 878–881.
3. А.А. Черепанов, А.А. Липенгольц, Т.А. Насонова, и др. Увеличение противоопухолевого эффекта рентгеновского облучения при помощи гадолиний содержащего препарата на примере мышей с трансплантированной меланомой B16F10. // Медицинская физика.- 2014.-№3 (63).- С. 66-69

### ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРАНСМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Д.В. Ивашков, А.В. Батрагин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [dvi2@tpu.ru](mailto:dvi2@tpu.ru)

Данная статья является кратким обзором современных задач компьютерной томографии (КТ), оборудования, методов и программного обеспечения для их решения и некоторых особенностей томографического исследования.

Типичными объектами исследования промышленной КТ на сегодняшний день являются:

- металлы и мет. изделия (в т.ч. сплавы, в основном – легкие металлы) [1]
- керамика, полимерные соединения [2]
- композитные материалы

Соответствующие задачи можно условно объединить в следующие категории:

1. определение характеристик и свойств материалов:
  - a. трехмерный анализ состава материала
  - b. анализ структуры и дефектов образца
  - c. исследование распределения плотности и определение пористости образца
  - d. исследование распределения ориентации волокон для композитных материалов
  - e. исследование прочности и процесса разрушения материалов
2. определение геометрии и метрология
  - a. геометрические измерения: расстояния, диаметры, сферичность объекта и т.д.
  - b. измерение толщины стен и визуализация посредством цветового кодирования
  - c. сравнение готовой детали с исходным 3D-чертежом при помощи 3D-моделирования

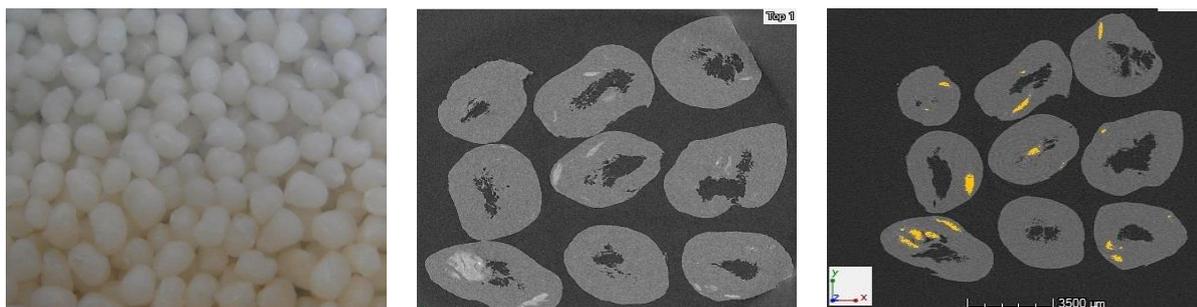


Рисунок 1. Гранулы: полипропилен + целлюлозное волокно, ср. диаметр – 3 мм (a), томограмма гранул (размер вокселя – 6,5 микрон) (b), сегментация инофазных включений (выполнено в пакете VGStudio Max 2.2) (c).  
Результаты получены в FH Oberösterreich CT group, Wels, Austria

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. Angermeier, A. M. Horr – An Innovative Use of CT Method in Light Metals Development - Conference on Industrial Computed Tomography (ICT), Wels, Austria (2014), p. 149 – 159
2. A. M. Efremov, G. Bruno. Modeling the impact of microcracking on the thermoelasticity of ceramics. Phil. Mag, Vol. 93, p. 691-717, 2013

### ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

А.С. Кубанкин<sup>1,2</sup>, К.А. Вохмянина<sup>1</sup>, В.С. Левина<sup>1</sup>, Г.П. Похил<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Россия, г.Белгород, ул. Победы, 85, 308015

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>3</sup>НИИ ЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова

Россия, г.Москва, Ленинские горы, 1, 119991

E-mail: [kubankin@bsu.edu.ru](mailto:kubankin@bsu.edu.ru)

Выполнена серия экспериментов по исследованию спектрально-угловых характеристик пучка электронов с начальной энергией 10 кэВ, взаимодействующего с диэлектрическими поверхностями в скользящем режиме. Рассмотрены случаи взаимодействия электронов с плоскими, коническими и поверхностно-структурированными мишенями.

Исследования показали возможность управления угловыми характеристиками пучков электронов при изменении ориентации плоскости мишени относительно оси пучка электронов. Результаты измерения характеристик пучка электронов, взаимодействующего с коническими микрокапиллярами, демонстрируют возможность существенного увеличения плотности потока электронов на выходе из капилляра. Исследование поверхности некоторых материалов, из которых были изготовлены мишени, показало наличие деградация поверхности под действием электронного пучка.

Для интерпретации результатов была разработана модель, рассматривающая механизмы взаимодействия пучка электронов с диэлектриками в рассматриваемой геометрии экспериментов для плоских мишеней. Показано хорошее согласие модели с экспериментом.

Результаты работы позволяют рассчитывать на возможность использования рассматриваемых процессов для разработки эффективных устройств, позволяющих эффективно управлять пространственными характеристиками пучков электронов с энергией порядка 10 кэВ.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА МИКРОТРОНА МОДИФИЦИРОВАННЫМ ABS-ПЛАСТИКОМ

И.А. Милойчикова, С.Г. Стучебров, Г.К. Жаксыбаева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: miloichikova@gmail.com

На сегодняшний день электронные пучки различных энергий находят широкое применение в медицине и промышленности [1]. Повсеместное использование источников ионизирующего излучения накладывает требования к современным методам формирования профиля и формы пучка с целью их модуляции в соответствии с конкретными задачами. Как следствие актуальным является исследование взаимодействия ионизирующих излучений с различными материалами.

В настоящее время технологии трехмерной печати благодаря своей доступности начинают использоваться в самых различных отраслях. Не малый интерес вызывает возможность изменять свойства тех или иных материалов для 3D-печати в соответствии с конкретными задачами. Одним из самых широко распространенных материалов для 3D-печати является ABS-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол, АБС) в силу его относительно низкой стоимости, доступности и высокой прочности [2].

Для повышения эксплуатационных характеристик 3D-печатных изделий в производстве применяется технология синтеза различных материалов. В данной работе для модификации свойств материала были выбраны смеси ABS-пластика и свинца в различных процентных соотношениях. При внедрении новых методик в первую очередь необходимо провести теоретическую оценку целесообразности их разработки.

Целью работы являлся теоретическое исследование взаимодействия электронного пучка с материалами из ABS-пластика с примесями свинца различной концентрации при помощи численного моделирования выведенного электронного пучка микротрона с энергией 6,1 МэВ.

Для создания модели выведенного электронного пучка микротрона использовалась программа «Компьютерная лаборатория (PCLab)» [3], разработанная на кафедре Прикладной физики ТПУ. Моделирование осуществляется посредством применения метода Монте-Карло. Программный пакет позволяет рассчитывать процессы распространения электронов, позитронов, фотонов и протонов в веществе с заданными характеристиками.

При моделировании использовались следующие параметры пучка микротрона: энергия электронов – 6,1 МэВ; размер пучка на выходе 2,0 мм<sup>2</sup>; расходимость пучка – 0,1 рад.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Review of industrial accelerators and their applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433\\_CD/datasets/papers/ap\\_ia-12.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433_CD/datasets/papers/ap_ia-12.pdf). – 28.04.15.
2. ABS-пластик для 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/materialy-dlja-3d-pechati>. – 28.04.15.
3. Беспалов В.И. Компьютерная лаборатория. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – 116 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТА НА РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Н.В. Мишина, М.С. Черепнев, В.С. Яковлева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [ymishnv@gmail.com](mailto:ymishnv@gmail.com)

Физические параметры грунта оказывают существенное влияние на атмосферные поля ионизирующих излучений, которые, в свою очередь, являются отражением состояния системы «литосфера-атмосфера-ионосфера-космос». В ходе многолетних совместных исследований Томского политехнического университета и Института мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС), проводимых на экспериментальной площадке ИМКЭС [1], была обнаружена значимая зависимость между интенсивностью осадков и характеристиками полей ионизирующих излучений (ИИ) приземной атмосферы. В качестве характеристик полей ИИ приземной атмосферы были выбраны плотности потоков (ПП)  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений, мощности поглощенной дозы  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений. Характеристики полей ИИ регистрировали различными типами детекторов (сцинтилляционные, газоразрядные), расположенных на разных высотах от 10 см до 35 м в открытой атмосфере здания института [1]. Параллельно с экспериментами проведено моделирование зависимости перечисленных характеристик полей ИИ от влажности грунта и высоты над земной поверхностью (высоты расположения детектора ИИ), результаты которого представлены на рис. 1.

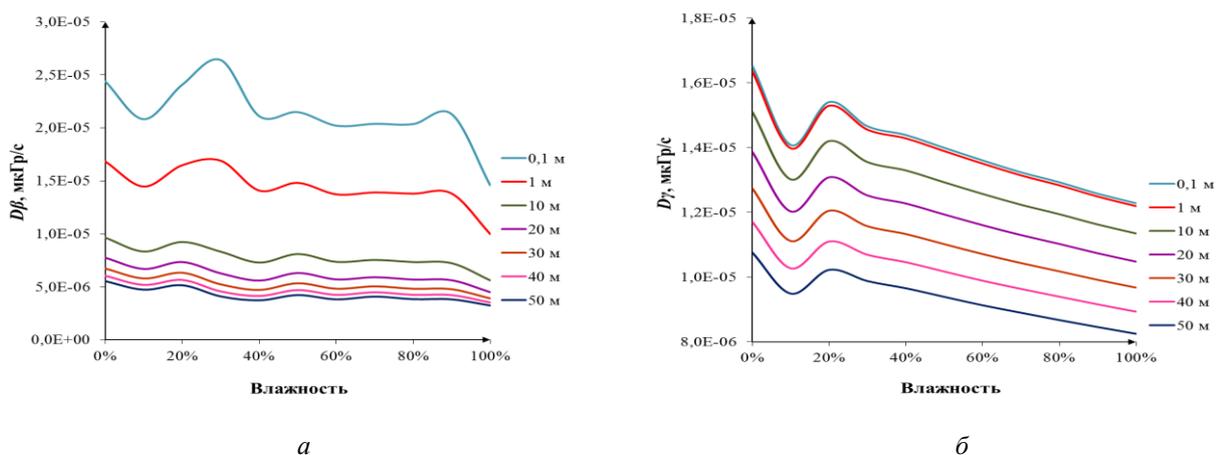


Рисунок 1. Зависимость: а) дозы  $\beta$ -излучения и б) дозы  $\gamma$ -излучения от влажности грунта и высоты

Зависимость вертикальных профилей ПП  $\gamma$ -излучения от влажности грунта практически совпадает с представленными на Рис.1(б), а для  $\beta$ -излучения имеет существенное отличие от Рис.1(а). Детальное обсуждение результатов моделирования, а также их сопоставление с экспериментальными данными приведено в статье.

Работа выполнена при поддержке гранта ФЦП №14.575.21.0105.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлева В. С. и др. Методология многофакторного эксперимента по процессам переноса радона в системе «литосфера–атмосфера» //АНРИ. – 2009. – №. 4. – С. 55-60

## ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА БЕТАТРОНА ПО ОПТИЧЕСКОМУ ПЕРЕХОДНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

А.И.Новокшенов<sup>1</sup>, А.В.Вуколов<sup>1</sup>, А.П.Потылицын<sup>1</sup>, Т.Р.Мурдян<sup>2</sup>, А.Е.Мовсисян<sup>2</sup>, В.Р.Кочарян<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Институт прикладных проблем физики,

Армения, г.Ереван, ул. Гр. Нерсисяна, 25, 375014

e-mail: novokshonov@tpu.ru

Электронные пучки с энергией  $E_0 \leq 10$  МэВ успешно используются в лучевой терапии. Планирование терапевтических процедур, в частности, величина дозовой нагрузки и пространственное распределение дозового поля определяется энергией электронного пучка, поэтому задача измерения энергии выведенного электронного пучка бетатрона является весьма актуальной задачей. В данной работе предлагается использовать для этой цели оптическое переходное излучение (ОПИ) [1,2]. Измеряя угловое распределение ОПИ можно определить энергию начальных электронов по величине угла между распределениями.

Для электронов с энергией  $E_0 \sim 5$  МэВ выход фотонов ОПИ в области максимума в телесный угол  $\Delta\Omega \sim 4 \times 10^{-4}$  (апертура детектора  $S=1$  см<sup>2</sup>, расположенного на расстоянии  $L=50$  см от мишени) оценивается на уровне  $N_{\text{ф}} \sim 10^{-8}$  фот./е<sup>-</sup>. Таким образом, можно ожидать, что подобная диагностика пучка электронов бетатрона с интенсивностью  $\sim 5 \times 10^{10}$  е<sup>-</sup>/сек может проводиться с требуемой точностью.

Эксперимент проводился на микротроне с перестраиваемой энергией выведенного пучка, подробное описание данной установки приведено в работе [3].

В работе была показана возможность использования кремниевого фотоумножителя SensI для регистрации ОПИ, генерируемого пучком микротрона с энергией 5 МэВ.

В эксперименте одновременно измерялись ОПИ и ток пучка при помощи относительного сцинтилляционного монитора. Колебровка монитора проводилась при измерении тока пучка цилиндром Фарадея. Двумерное распределение ОПИ измерялось при помощи высокочувствительной камеры CCD камеры Arcee-E2V Camera Alta F30.

Мы полагаем возможность диагностики параметров пучка электронов с конечной энергией частиц в пределах единиц МэВ по оптическому переходному излучению.

В дальнейшем предполагается проведение аналогичных экспериментов на бетатроне с конечной энергией ускоряемых частиц 3,5 МэВ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург В.Л., Цытович В.Н., Переходное излучение и переходное рассеяние, М., 1984.
2. Aleinik A.N., Chefonov O.V., Kalinin B.N., Naumenko G.A., Potylitsyn A.P., Saruev G.A., Sharafutdinov A.F., Wagner W. Low-energy electron-beam diagnostics based on the optical transition radiation// Nuclear Instruments & Methods In Physics Research. – 2003 – p. 34.
3. Гриднев В.И., Розум Е.И., Слупский А.М., Воробье С.А. Микротрона с перестраиваемой энергией выведенного электронного пучка // Приборы и техника эксперимента 1985. – 20 с.
4. Шарафутдинов А.Ф. Диагностика электронных пучков низких энергий: диссертация. канд. физ.-мат. наук. – Томск, 2004. – 86 с.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА НА СПЕКТР ДИФРАГИРОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ КВАРЦА

А.И.Новошконов<sup>1</sup>, А.В.Вуколов<sup>1</sup>, А.П.Потылицын<sup>1</sup>, Т.Р.Мурдян<sup>2</sup>, А.Е.Мовсисян<sup>2</sup>, В.Р.Кочарян<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Институт прикладных проблем физики,

Армения, г.Ереван, ул. Гр. Нерсисяна, 25, 375014

e-mail: novokshonov@tpu.ru

Экспериментально исследованы спектры дифрагированного рентгеновского излучения в монокристалле кварца ( $10\bar{1}1$ ) в геометрии Лауэ под воздействием температурного градиента спектрометром БДЕР-КИ-11К. с разрешением 300 эВ на линии  $\text{Am}241$  17,74 кэВ.. Наличие температурного градиента приводит к увеличению интенсивности дифрагированного пучка [1-2], которая нами измерена в зависимости от температуры нагрева одной грани кристалла. Показано, что интенсивность отраженного излучения в Лауэ геометрии может возрасти на 2 порядка по сравнению с однородным температурным режимом кристалла. Получена кривая качания отраженного пучка под фиксированным углом наблюдения  $6^{\circ}$ , при заданном температурном градиенте. Показано, что с увеличением температурного градиента (до определенного значения) интенсивность отраженного пучка увеличивается, а спектральная ширина отраженной линии остается неизменной и определяется энергетическим разрешением спектрометра. Дальнейшее увеличение температурного градиента приводит к увеличению спектральной ширины при уменьшении интенсивности отраженного пучка.

Авторы работ [2-3] измеряли интегральную интенсивность проходящего и отраженного дифрагированных рентгеновских пучков в геометрии Лауэ, для кристаллов с  $\mu t \approx 1$ , ( $\mu$  - линейный коэффициент поглощения,  $t$  - толщина кристалла) при создании температурного градиента внутри кристалла и обнаружили «эффект полной переброски излучения», при котором интенсивность проходящего пучка полностью перебрасывается в направлении отраженного пучка [3]. В настоящей работе экспериментально исследовались характеристики эффекта переброски в спектре проходящего излучения в зависимости от величины температурного градиента, действующего перпендикулярно отражающим атомным плоскостям ( $10\bar{1}1$ ) в кристалле кварца, с помощью полупроводникового детектора типа БДЕР-КИ-11К. Для выбранной ориентации кристалла первый порядок дифракции соответствовал энергии 35 кэВ. Именно для этой энергии в сплошном спектре проходящего пучка наблюдался провал, глубина которого определялась величиной температурного градиента и энергетическим разрешением детектора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Р.Мкртчян, А.Р. Аракелян, Г.А. Арутюнян Л.А. Кочарян. Письма в ЖЭТФ, т. 26, Вып. 8, 599 – 603, 1977.
2. Mkrtchyan, A.R., Navasardyan, M.A., Gabrielyan, R.G., Kocharian, L.A. & Kuzmin, R.N. *Solid State Communicaton*, **59**,147-149, 1986.
3. А.Р. Мкртчян, М.А. Навасардян, В.К. Мирзоян. Письма в ЖТФ, 8, 677 (1982).

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОБЛАЦИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

<sup>1</sup>А.А. Оспан, <sup>1</sup>А.Н. Алейник, <sup>2</sup>Н.А. Жумантаева, <sup>2</sup>Л. И. Лисицына

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет

Россия, г. Новосибирск, пр. к. Маркса, 20, 630073

E-mail: ospanova.ajnura@mail.ru

Хирургические инструменты, использующие плазму, широко применяются в различных хирургических процедурах. Однако, при этом температура достигает 500 °С и ткани повреждаются на глубину до 5 мм [1]. Альтернативным методом, который недавно начал входить в медицинскую практику, является удаление тканей с помощью холодной плазмы. Данный метод был разработан компанией ArthroCare Co и назван коблацией [2].

Принцип работы таких хирургических инструментов заключается в следующем. В проводящей среде, которой обычно является физиологический раствор, с помощью электрических импульсов создаются электрические разряды. Возникающая при этом плазма содержит ионизированные частицы с достаточно большой энергией (4-6 эВ) [3]. Этой энергии достаточно, чтобы разорвать молекулярные связи в тканях, что приводит к их объемному удалению. В коблации применяется низкомолекулярная дезинтеграция. В результате происходит объемное удаление тканей с минимальным некрозом окружающих, например, нервных волокон.

Для исследования механизма коблации разработан макет прибора. Установка состоит из блока управления, включающего блок питания, плату формирователя формы электрических импульсов и плату согласования, а также электродный узел. Частота следования электрических импульсов – 150 кГц. Для изучения воздействия «холодной» плазмы, было проведено испытание работоспособности установки на биоптате с достижением его разрушения при исключении термодеструкции биоткани. После коблации биоптата отчетливо видна зона со «щадяще» удаленной тканью, без видимых следов термодеструкции, что подтверждает возможность использования разработанной экспериментальной установки в дальнейших исследованиях по оптимизации электрических и технологических параметров процесса, реализующего метод коблации с перспективой его применения для удаления доброкачественных кожных папиллом, а также патологически измененного апоневроза при контрактуре Дюпюитрена.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Absten G.T. Practical electrosurgery for clinicians. - Professional Medical Education Association, Inc . 2002 – 356 p.
2. Stalder K. R., McMillen D. F., Woloszko J. Electrosurgical plasmas. // J. Phys. D: Appl. Phys.– 2005– V.38. – P.1728-1738.
3. Woloszko, M. Kwende. Coblation in Otolaryngology. Lasers in Surgery. // Proceeding of SPIE.–2003–V.4949–p.546..

## РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КЕРАМИКИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ГАММА-КВАНТАМИ

В.Ф. Пичугин, Л.Ф. Смекалин, А.М. Владимиров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [pichugin@tpu.ru](mailto:pichugin@tpu.ru)

Нами проведены исследования динамики объемной и поверхностной радиационной электропроводности ( $\sigma_v$  и  $\sigma_s$ ) образцов высоковольтных керамик типа БГП-10 и АХ05 в процессе их облучения гамма-квантами высоких энергий. Керамика АХ05 - гексагональный нитрид бора (BN), керамика БГП-10 – композиция 60% нитрида бора и 40% оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ). Исследования проводились на комплексе «Радиян», включавшем в себя: установку «РОКУС-АМТ» с источником гамма-квантов  $\text{Co}^{60}$  (источник ГИК-9-2, энергия квантов 1,25 МэВ); испытательный стенд для размещения образцов, экспериментальную ячейку; измерительную цепь. Исследуемые образцы имели форму диска диаметром 33 мм, толщиной 0,2–0,3 мм, с нанесенными с двух сторон электродами (Al или Au) и охранным кольцом. Диаметр измерительного электрода  $D_1 = 17$  мм, внутренний диаметр охранного кольца  $D_2 = 21$  мм. Напряженность электрического поля не более 10 Кв/см. Вольт-амперная характеристика всех образцов линейна в интервале используемых значений напряжения. Образцы облучались при комнатной температуре в вакууме  $10^{-7}$  мм рт.ст. и безмасляной откачке. Измерительная цепь состояла из источника постоянного напряжения (гальваническая батарея 200 В), пикоамперметра «Keithley» и мультиметров производства фирмы «Tektronix». Источник обеспечивал постоянное напряжение, независимое от внешней сети, с точностью до 0,01 В.

Измерения и обработка данных с помощью ПК позволяли получать данные по изменению электропроводности в режиме реального времени. Методика измерений ( $\sigma_v$  и  $\sigma_s$ ) описана в [1] и полностью соответствует требованиям стандарта [2]. Мощность поглощенной дозы излучения составила величину 2,7 рад/s (0,027 Gy/s) и контролировалась дозиметром ДКС-101 в соответствии с требованиями стандарта [3].

Результаты измерений представлены на рис.1. Значения исходной темновой электропроводности для всех образцов находятся в диапазоне величин  $(1,5 - 4,5) \times 10^{-15}$  S/m. При включении излучения (время открывания затвора на установке «РОКУС-АМТ» составляет 5 сек.) проводимость резко возрастает до величин  $(3-4) \times 10^{-14}$  S/m (кривые 1–4). Форма кривых нарастания проводимости образцов керамики (рисунок 1, кривые 1–4) свидетельствует о том, что  $\gamma$ -облучение не приводит к генерации радиационных дефектов, обладающих акцепторными свойствами [4,5]. Установлены следующие закономерности поведения  $\sigma_v$ .

Объемная проводимость образцов из материала БГП-10 (кривые 3,4) практически не изменяется при наборе дозы излучения до 270 Gy (более 2,5 часа непрерывного облучения). Материал электродов (Al или Au) на керамике БГП-10 практически не влияет на динамику электропроводности, на ее максимальную величину (в пределах  $(3-3,5) \times 10^{-14}$  S/m) и на релаксационные процессы после выключения излучения. Время облучения образца № 3 – 1,25 часа, образца № 4 – 2,75 часа. Темновые характеристики облученных образцов возвращаются в исходное состояние после выдержки в вакууме примерно в течение 24-х часов.

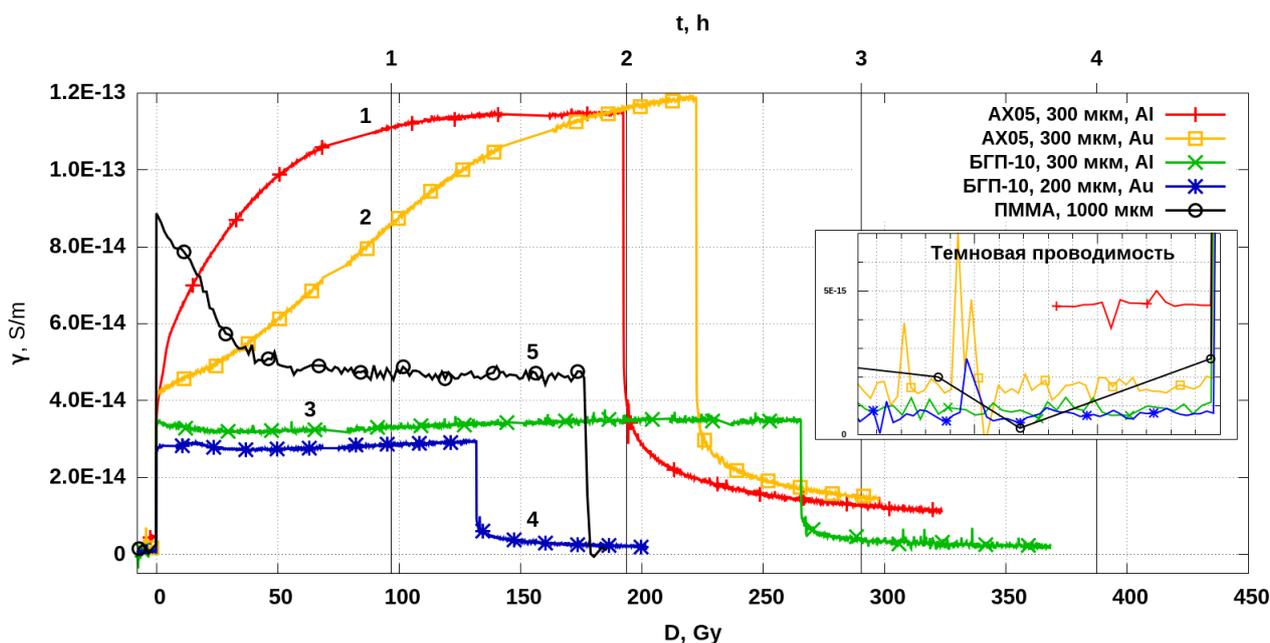


Рисунок 1. Динамика радиационной электропроводности в керамиках AX05 и БГП-10

Объемная проводимость образцов из материала AX05 (кривые 1,2) монотонно возрастает с ростом дозы излучения до практически постоянного значения  $(1,15-1,2) \times 10^{-13}$  S/m при достижении значений дозы (190–220) Gy и не зависит от типа электродов (Al или Au). Время облучения (2–2,2) часа. Однако наблюдается разница в динамике нарастания  $\sigma_v$  в образцах с Al-электродами и Au-электродами. Динамики радиационной электропроводности образцов № 1 и № 5 (ПММА толщиной 1000 мкм, кривая 5) представляют собой два основных вида, описанных в работе [5]. Нарастание значения электропроводности в образцах № 2 (Au-электроды) происходит значительно медленнее в диапазоне поглощенных доз (0–200) Gy. При этом обнаружен характерный перелом в кривой нарастания  $\sigma_v$  при наборе дозы около 50 Gy (кривая 2).

Таким образом, установлено, что хотя исходные темновые величины электропроводности примерно одинаковы для образцов из AX05 и БГП-10, значения их радиационной электропроводности при длительном облучении высокоэнергетическими гамма-квантами различаются почти на порядок. При этом материал электродов сказывается на динамике  $\sigma_v$  в образцах из AX05, в то время как динамика  $\sigma_v$  в образцах из БГП-10 практически не зависит от материала электродов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лучейкин Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров. – М.: Химия, 1988.
2. ГОСТ 6433.2–71
3. ECSS(ESA/SCC) Basic Specification №22900 – «Total Dose Steady-State Irradiation Test Method».
4. Annenkov Yu. M., Pichugin V. F. Radiative conductivity of alkali-halide crystals // Soviet Physics Journal. –1975. – Vol. 18 – № 10. – P. 1486–1488.
5. Б.М.Вул. ФТТ, 3, 8, 2264, 1961.

## СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПО ОБЛУЧЕНИЮ ОБРАЗЦОВ В УСЛОВИЯХ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

С.В. Перминов, С.А Чуфистов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: perminov\_sereg@mail.ru

В настоящее время, ракетно-космическая корпорация «Энергия» совместно с госкорпорацией «Росатом» и ФГУП «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» осуществляют работу над проектом по созданию ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса, предназначенной для межпланетных миссий. Планируется, что транспортно-энергетический модуль будет подготовлен к летно-конструкторским испытаниям уже к концу 2018 года [1].

Материалы, используемые для создания проектируемой ядерной установки, приборы систем управления и защиты этой установки предполагают эксплуатацию в условиях действия полей реакторного излучения и низких температур, соответствующих космическому пространству.

Насколько известно из открытых источников, за последние 25 лет в России, не проводилось исследований в области космического радиационного материаловедения, радиационной стойкости полупроводниковых изделий и приборов в части сохранения своих электрофизических свойств в пучках различного излучения при достижении высоких, до  $10^{19}$ - $10^{21}$  частиц/см<sup>2</sup>, флюенсов.

Существующий дефицит экспериментальной информации о протекании процессов дефектообразования в условиях действия полей реакторного излучения при низких, до 100 К, температурах, одной из основных задач при создании ядерных двигательных установок, ставит проведение исследований влияния полей реакторного излучения на материалы и приборы. Кроме того, спектр материалов и полупроводниковых приборов, которые будут использоваться при создании ядерной энергодвигательной установки, достаточно широк, а количество исследовательских реакторов позволяющих проведение исследований при пониженных температурах ограничено.

Физико-технический институт ТПУ является одним из институтов страны, эксплуатирующих собственный исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т, что дает возможность заниматься подобными исследованиями.

Целью создания данной экспериментальной установки является проведение исследований в области радиационного материаловедения, изучения воздействия различных видов излучения на изменение функциональных свойств полупроводниковых структур и изделий при температурах в интервале 10 – 325 К.

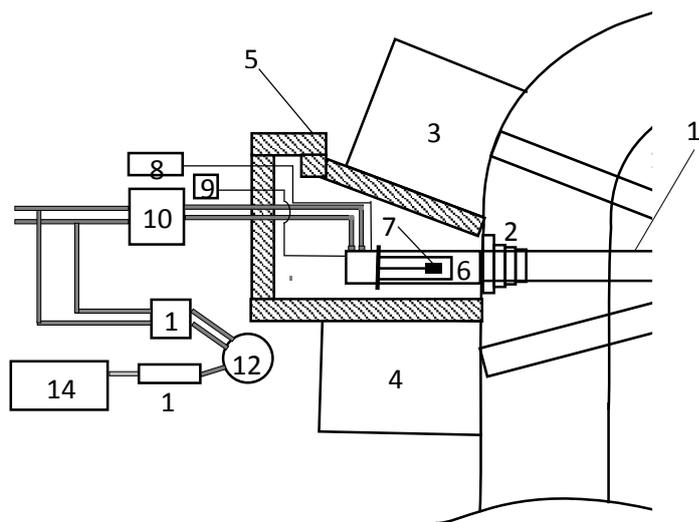
### Описание установки

Одним из основных элементов установки является криостат замкнутого цикла, обеспечивающий нахождение, на протяжении всего времени облучения, облучаемых образцов при температуре до 10 К. Криостат представляет собой систему вакуумированных и находящихся один в другом цилиндров, изготовленных из алюминия марки АД0, подходящих к этим цилиндрам хладопроводов, обеспечивающих охлаждение образца в процессе облучения, систему термодар, обеспечивающих контроль температуры образца и вакуумных магистралей, идущих от цилиндров к внешнему вакуумному насосу и компрессору [2]. Рядом с криостатом размещена компактная станция по получению жидкого азота, объединенная с ним общей системой водяного охлаждения.

Криостат (6) планируется к размещению на 8-м горизонтальном экспериментальном канале реактора (1), вплотную к шиберу. Таким образом, образец будет облучаться, выводимым по ГЭК-8, пучком нейтронов.

Канал ГЭК-8 – торцевой, ось канала выходит на центр активной зоны реактора ИРТ-Т, исполнен в виде нержавеющей трубы диаметром 100 мм. Высота от пола физ.зала – 890 мм. Канал оснащен шибером (2), отсекающим выход нейтронов в физ.зал реактора.

Схема расположения экспериментального оборудования представлена на рисунке 1.



- 1) ГЭК-8
- 2) Шибер
- 3) Биологическая защита экспериментального оборудования на ГЭК-7
- 4) Биологическая защита экспериментального оборудования на ГЭК-9
- 5) Биологическая защита экспериментального оборудования на ГЭК-8
- 6) Криостат замкнутого цикла
- 7) Держатель образца
- 8) Термоконтроллер
- 9) Вакуумный насос
- 10) Гелиевый компрессор 1
- 11) Гелиевый компрессор 2
- 12) Сосуд дьюара
- 13) Азотный генератор
- 14) Воздушный компрессор

*Рисунок 1. Схема расположения экспериментального оборудования*

Облучение образца производится выведенным пучком нейтронов, поэтому экспериментальное оборудование окружается биологической защитой (5), обеспечивающей нормальные условия работы персонала группы А.

Доступ к оборудованию внутри защищенной зоны осуществляется через откатываемую дверь на рельсах. Откатываемая дверь биологической защиты оснащается механической и электрическими блокировками, препятствующими неконтролируемому доступу внутрь, при работе реактора на мощности и облучении образцов. На биологической защите предполагается установка световой сигнализации, указывающей о проведении процесса облучения образца. В случае несанкционированного открытия двери предусмотрено срабатывание звукового сигнала. Сигналы блокировок выводятся на пульттовую реактора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СМИ об атомной отрасли. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosatom.ru/journalist/atomicsphere/f60992004c04ab6bbd06ffc7ae17b938> – 26.04.15.
2. Cold Head Models CH-202, CH-204S, CH-208R, and CH-208L Operating Manual. Revision B. Sumitomo (SHI) Cryogenics of America, Inc. // February 2010.

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В РЕАКЦИИ $\beta$ -И $\gamma$ -ПОЛЕЙ НА АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ**

К.С. Рябкина<sup>1</sup>, А.Г. Кондратьева<sup>1</sup>, В.С. Яковлева<sup>1</sup>, П.М. Нагорский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
Россия, г.Томск, пр. Академический, 10/3, 634055

E-mail: [xeniya\\_ryabkina@mail.ru](mailto:xeniya_ryabkina@mail.ru)

Экспериментальные и теоретические исследования пространственной и временной динамики атмосферных полей ионизирующих  $\gamma$ -излучений проводятся не одно десятилетие, и их актуальность обусловлена многогранностью приложений в различных областях знаний. Среди них присутствуют исследования влияния осадков на поля  $\gamma$ -излучения. Реакция полей  $\beta$ -излучений на осадки практически не изучалась.

Целью данной работы является выявление закономерностей между  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучениями в атмосфере земли и характеристиками ливневых осадков во время прохождения циклонов и гроз в летний период.

Характеристики полей  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения были получены с помощью экспериментально-измерительного комплекса ТПУ – ИМКЭС [1] в системе "грунт-приземная атмосфера" в вертикальном разрезе. Мониторинг атмосферно-электрических и метеорологических величин ведется на базе Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Академгородок, г. Томск).

За летние периоды 2011-2014 годов было выявлено 68 дней с ливневыми осадками более 5 мм. Получены вариации потоков  $\beta$ - и  $\gamma$ - излучений в хорошую погоду, во время грозовых штормов и при выпадении осадков. Пример вариаций потоков  $\beta$ - и  $\gamma$ - излучений на разных высотах и вариации осадков приведен на рис. 1. Обсуждаются связи между возрастаниями потоков  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений и осадками.

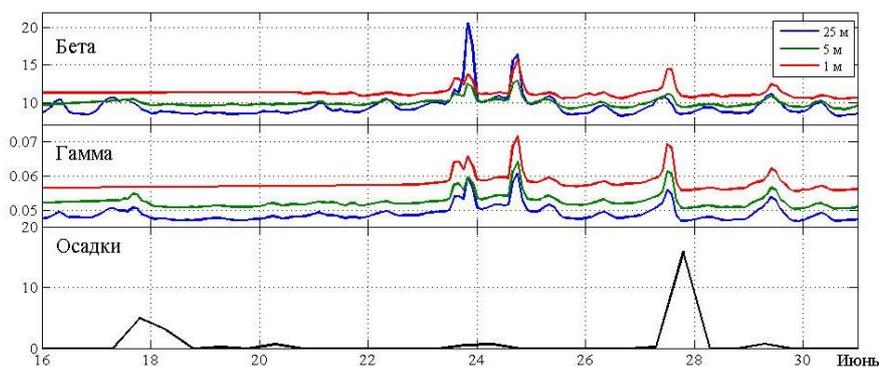


Рисунок 1. Вариации потоков  $\beta$ - и  $\gamma$ - излучений и вариации осадков на конец июня 2012 г.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Яковлева В.С., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М. и др. Методология многофакторного эксперимента по процессам переноса радона в системе «литосфера-атмосфера» // АНРИ. – 2009. - № 4. – С. 55-60.

## НАНОКОЛЛОИДНЫЙ ПРЕПАРАТ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, МЕЧЕННОГО ТЕХНЕЦИЕМ-99М

В.Л. Садкин, А.С. Рогов, Ильина Е.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [sadkin@tpu.ru](mailto:sadkin@tpu.ru)

Исследованы закономерности адсорбции  $^{99m}\text{Tc}$  на активированном наноразмерном порошке гамма-оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . В результате проведенных исследований были получены меченные технецием-99м нанокolloидные препараты на основе гамма-оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с высокой радиохимической чистотой и радиохимическим выходом частиц с размером до 100 нм более 75 %.

Исследованы закономерности адсорбции  $^{99m}\text{Tc(VII)}$  на активированном гамма-оксиде  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Показано, что сорбционная емкость оксида по радионуклиду зависит от его кислотной обработки. Установлено, что максимальная адсорбция  $^{99m}\text{Tc}$  на оксиде наблюдается при поглощенном оксидом количестве кислоты  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/г.

Показано, что для полного восстановления  $^{99m}\text{Tc}$  в заданном объеме РФП концентрация Sn (II) должна быть не менее 0,0175 мг/мл. Введение в РФП более высокого количества Sn (II) не целесообразно, так как это может привести к параллельному образованию крупноразмерного коллоида. Сделана оценка выхода частиц с размерами менее 100 нм.

Изучение закономерностей распределения нанокolloидного РФП в организме экспериментальных животных и их функциональной пригодности для сцинтиграфической визуализации лимфатических узлов показало, что уровень накопления препарата в лимфатическом узле составляет 1,63 % от общей введенной активности, что достаточно для его надежной визуализации.

## ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНОГО ГЛЮКОЗЫ, МЕЧЕННОГО ЙОДОМ-123

А.С. Семенов, В.М. Головков, В.С. Скуридин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [semenovas@tpu.ru](mailto:semenovas@tpu.ru)

В последние годы большое внимание уделяется получению новых радиофармацевтических препаратов (РФП) на основе производных глюкозы, меченных не только хорошо известными радионуклидами, испускающими позитроны, такими как  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ , но и нуклидами, испускающими один фотон -  $^{99m}\text{Tc}$  и  $^{123}\text{I}$  [1]. РФП на основе производных глюкозы, меченных однофотонными радионуклидами, открывают возможность визуализации опухолей с помощью более доступных и более распространенных однофотонных эмиссионных компьютерных томографов (ОФЭКТ). Их применение позволит значительно снизить стоимость диагностических процедур и одновременно увеличить количество диагностических исследований в онкологии с целью выявления злокачественных новообразований на ранних стадиях их развития и в конечном счете снизить демографические потери, связанные с изменением качества жизни и потерей трудоспособности населения от социально значимых заболеваний [2].

В лаборатории получения радиоактивных веществ НИ ТПУ начаты работы по получению РФП на основе производных глюкозы, меченных йодом-123. Для решения поставленной задачи сформирован научный многопрофильный коллектив, включающий специалистов в области радиохимии и технологии радиоактивных веществ, органического синтеза, а также ядерной медицины. Совместно с кафедрой фармацевтической химии СГМУ разработана субстанция следующего состава:  $\beta$ -D-2-(6-йод гексаноил)-2-дезоксиглюкозамин, содержащий в своём составе атом стабильного йода. Мечение субстанции выполняли путём изотопного замещения стабильного  $^{127}\text{I}$  в молекуле исходной субстанции на его радиоактивный аналог  $^{123}\text{I}$ . Разработан состав реакционной смеси, изучено влияние растворителя, отработана методика экспрессного – одностадийного мечения субстанции.

В результате выполнения проекта планируются доклинические исследования на экспериментальных животных РФП на основе производного глюкозы, меченного гамма-излучающим радионуклидом, йодом-123.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка методов получения моносахаридов меченых технецием-99м для диагностики злокачественных новообразований / В.С. Скуридин, В.И. Чернов, Н.В. Варламова, Е.С. Стасюк [и др.] – Томск, 2012. – Гос.контракт N 16.518.11.7040 от 12.05.2011.
2. Семенов А.С. Получение меченных радионуклидами производных глюкозы для диагностики в онкологии / А.С. Семенов, В.С. Скуридин // Известия ТПУ, Физика, Том 56, № 4/2. – с 264-267.

#### РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

В.В.Сохорева, В.М. Головков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [sokhoreva@tpu.ru](mailto:sokhoreva@tpu.ru)

Пленочные полимерные мембраны с пористой структурой успешно используются во многих отраслях науки и техники. Примером такого применения могут служить мембранные процессы разделения растворов и биологических жидкостей. Особое место занимают полимерные мембраны, применяемые в качестве твердого электролита в топливных элементах.

В данной работе систематизированы и детально изложены результаты разработок радиационных технологий синтеза полимерных трековых мембран, проводимых на модернизированном циклотроне У-120 ФТИ ТПУ.

Исследуемые образцы-тонкие пленки полимера полиэтилентерефталата(ПЭТФ) облучались ионами  $^{40}\text{Ar}^{+8}$  в вакуумной камере. Для равномерного облучения применялась, разработанная в ФТИ ТПУ электростатическая развертка пучка. Доза ионов и энергия контролировались при помощи метода резерфордского обратного рассеяния (РОР). Для этого держатель с калиброванными мишенями из кремния, золота и ниобия размещался перед пленкой. Обратно рассеянные от мишеней ионы аргона регистрировались полупроводниковым кремниевым детектором.

В работе приводятся результаты исследования формирования полимерных трековых мембран (ТМ) из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и протонопроводящих мембран из фторсодержащего полимера ПВДФ. Показаны возможности применения ТМ в качестве: имплантодержателя в офтальмологических операциях [3], темплейтного шаблона при формировании острых катодов на Si [4] и фильтрующего материала в

водородных фильтрах [2]. Для формирования в полимерной матрице ПВДФ протонопроводящих свойств [4] был реализован метод радиационно- химической прививки мономера стирола к ПВДФ на прямом эффекте и на «пост- эффекте» с последующим сульфированием

Приводятся результаты измерения проводимости синтезированных протонопроводящих мембран.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2525856 РФ.МПК H01J/30 Способ изготовления МДМ –катода/ И.В. Кулинич, Т.И. Данилина, В.Г. Мирончик, В.В. Сохорева, П.Е. Троян Заявлено 21.06.2012; Оpubл. 27.12.2013, Бюл. №23.
2. Ryabchikov A.I., Golovkov B.M., Sivin D., Sokhoreva V.V. Investigation of Multilayered Film
3. Structure Properties for Creation of Hydrogen Selective Membrane // Advanced Materials Research Vol. 1 084 (2015) pp 34-37.
4. E. O. Bosykh, V. V. Sohoreva, and V. F. Pichugin Potential Use of Nuclear Track Membranes in Ophthalmology/ Petroleum Chemistry, 2014, Vol. 54, No. 8, pp. 669–672.
5. Sokhoreva Valentina et all Laws of Radiation Grafting of Styrene to PVDF Films and Characterization of the Grafted Polymer // Advanced Materials Research Vol. 1084 (2015) pp 42-45

#### ИЗМЕНЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РЗРЕЗА АТМОСФЕРНЫХ В- И Г-ПОЛЕЙ В ПЕРИОДЫ СХОДА И УСТАНОВЛЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

А. А. Степаненко<sup>1</sup>, В.С. Яковлева<sup>1</sup>, П.М. Нагорский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3, 634055

E-mail: [sasha9208@rambler.ru](mailto:sasha9208@rambler.ru)

Влияние городской инфраструктуры, согласно новой технологии радиационного мониторинга [1], проявилось и в вертикальных разрезах плотностей потоков гамма- и бета-излучений приземной атмосферы. Согласно общераспространенным моделям распределение мощности дозы или плотности потока гамма- или бета-излучения по высоте близко к экспоненциальному, и снижается с ростом высоты. Результаты нашего мониторинга подтвердили такое распределение, но только в те сезоны года, когда отсутствует снежный покров. Наличие снежного покрова искажает эту зависимость, вплоть до обратной (рис. 1). Здесь сказывается влияние городских высотных сооружений. Таким образом, вклад гамма- и бета-излучения от радионуклидов, содержащихся в строительных материалах в суммарный радиационный фон на больших высотах становится больше, чем вклад от радионуклидов, содержащихся в грунте.

Анализ результатов радиационного мониторинга показал, что при моделировании переноса ионизирующих излучений внутри городской черты необходимо учитывать городские сооружения, как источники ионизирующего излучения, а также изотопов радона и дочерних продуктов их распада. Дальнейшее развитие технологии радиационного мониторинга городской среды позволит получать новые данные о структуре и динамике полей ионизирующих излучений и естественной радиоактивности в приземной атмосфере и поверхностном слое грунта, выявлять особенности и закономерности в их поведении, а также взаимосвязи с метеорологическими процессами внутрисуточного, суточного и синоптического масштабов. Одним из результатов мониторинга является постоянно пополняющаяся библиотека данных, включающая базы данных о характеристиках полей излучений и ОА радионуклидов в грунте и приземной атмосфере, атмосферно-электрических и метеорологических величинах, о повторяемости и интенсивности экстремальных событий,

связанных с метеорологическими явлениями в сейсмически безопасном регионе с резко-континентальным типом климата в условиях его современных изменений. База данных может быть востребована в Роспотребнадзоре, Росгидромете, службах МЧС и здравоохранения.

Работа выполнена при поддержке гранта ФЦП №14.575.21.0105.

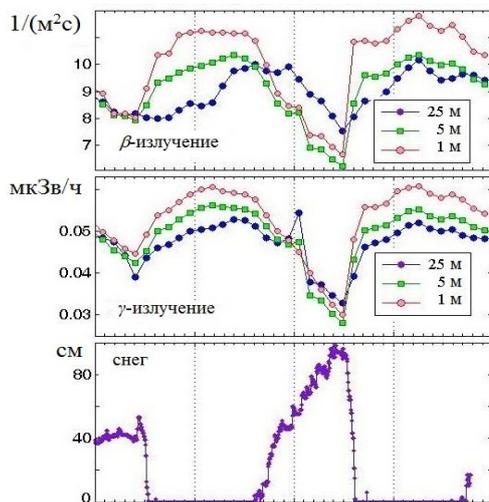


Рисунок 1. Динамика  $\beta$ - и  $\gamma$ -полей во время схода снежного покрова.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлева В.С. и др. Методология многофакторного эксперимента по процессам переноса радона в системе “литосфера–атмосфера” // АНРИ. 2009. №4. С.55-60.

#### ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ЗАМАСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ

В.С. Теменков, А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: shadows93@mail.ru

Одной из проблем предприятий черной металлургии является переработка замасленной окалины и шламов, ежегодный прирост которых достигает миллионов тонн в год. Особый интерес при этом представляют железосодержащие замасленные шламы (ЗЖШ) донных иловых отложений шламонакопительных систем, содержание железа в которых достигает (45-63) %, что позволяет считать их ценным техногенным сырьем.

Переработка ЗЖШ в настоящее время решается, в основном, путем обезмасливания с последующей утилизацией. Однако, химическое (отмывка химическими реагентами) и термическое (выжигание масла) обезмасливание – дорогостоящие процессы, создающие дополнительные экологические проблемы по регенерации промывных вод и очистке отходящих газов [1]. Поэтому разработка эффективной технологии обезмасливания и комплексного использования замасленных шламов является актуальной для предприятий черной металлургии.

В связи с этим представляет интерес процесс утилизации ЗЖШ в условиях низкотемпературной плазмы. В работе [2] показано, что плазменная утилизация бывших в употреблении масел в воздушной плазме в

виде диспергированных горючих водно-органических композиций (ВОК): приводит к существенному снижению энергозатрат на процесс утилизации таких отходов.

В результате расчетов показателей горения различных по составу ВОК на основе ЗЖШ определены оптимальные составы горючих ВОК, имеющие адиабатическую температуру горения  $T_{ад} \approx 1200$  °С и обеспечивающие их энергоэффективную утилизацию.

По результатам термодинамических расчетов процесса плазменной утилизации горючих ВОК на основе ЗЖШ определены и рекомендованы оптимальные режимы для их плазменной утилизации в воздушной плазме.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии плазменной утилизации замасленных железосодержащих шламов и других отходов предприятий черной металлургии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сомова Ю.В. Технологии переработки железосодержащих шламов металлургического производства/Ю.В. Сомова, В.Х. Валеев //Научные основы и практика переработки руд и техногенных отходов: Материалы международной науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Изд. «Форт Диалог-Исеть», 2013. – С. 301 – 305.
2. Теменков В.С., Касейнова А.С., Тургали Б.К. Расчет и оптимизация процесса плазменной утилизации отработанных масел на основе ПХБ // Международная научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение»: сборник тезисов докладов, 20-24 октября 2014г., г. Томск: ТПУ, 2014 - С. 128-130.

#### ПЛАЗМЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СМЕСЕВЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ МОХ – ТОПЛИВА

Н.В. Тундешев, Т.И. Лемешенко, А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: tundeshev93@mail.ru

Россия первой в мире приступила к созданию замкнутого ядерного топливного цикла (ЯТЦ), который предусматривает поставку с АЭС отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), его выдержку и переработку, извлечение Pu-239 и U-238, производство на их основе МОКС-топлива и его поставку на АЭС. Основой технологии переработки ОЯТ радиохимических заводов является PUREX-процесс, обеспечивающий высокую степень извлечения урана и плутония с высокой степенью их очистки от продуктов деления [1]. Для получения смешанного оксидного уран-плутониевого топлива разработана технология совместного соосаждения аммонийуранилплутонилтрикарбонатов (АУК-процесс), который обладает высокими аффинажными возможностями. Вместе с тем при получении смешанного топлива методом карбонатного осаждения не всегда обеспечивается получение сердечников с заданным содержанием плутония, в связи с чем необходима корректировка обогащения.

Плазменная технология получения оксидных композиций из смесевых нитратных растворов обладает многими важными особенностями. Это возможность получения гомогенного распределения компонентов и заданного стехиометрического состава во всем объеме порошка; чистота материала, возможность активно влиять на морфологию частиц, если это является важным [2]. Однако, эта технология требует больших удельных энергозатрат. Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазменной обработке смесевых нитратных растворов в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-органических композиций (ВОК) [3].

В результате проведенных расчетов показателей горения ВОК на основе этилового спирта и ацетона, обладающих высокой взаимной растворимостью, определены составы горючих ВОК, обеспечивающие их энергоэффективную переработку в воздушной плазме.

По результатам проведенных расчетов равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной переработки горючих ВОК определены оптимальные режимы исследуемого процесса в воздушной плазме. Для расчетов использовалась лицензионная программа «TERRA».

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазменного получения смесевых оксидных уран-плутониевых композиций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОЯТ./ Электронный ресурс.// Режим доступа: <http://nauka.relis.ru/06/0111/06111040.PDF>.
2. Туманов Ю. Н., Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 760 с.
3. Власов В. А. , Каренгин А. Г. , Каренгин А. А. , Шеховцова А. П. Плазменное получение нанодисперсных пигментов из отходов после очистки воды // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 3/3. - С. 87-90.

#### РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПРОЗРАЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ ОКСИДА ОЛОВА

С.П. Умнов, О.Х. Асаинов, А Чинин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [usp@tpu.ru](mailto:usp@tpu.ru)

Оптически прозрачные электропроводящие оксидные (ТСО) пленки широко применяются в различных областях промышленности (электроды для дисплеев, солнечных батарей, фотоэлектронные устройства, сенсорные панели и др.). Пленки оксида олова является перспективной альтернативой дорогостоящих индий-оловянным оксидных покрытий.

Тонкие пленки оксида олова (ТО) были осаждены на стеклянные подложки при комнатной температуре с помощью реактивного магнетронного распыления при различных парциальных давлениях кислорода. После осаждения пленки подвергались облучению пучком ионов аргона. Было изучено изменение оптических и электрических свойств пленок в зависимости от времени облучения. Оптические свойства пленок были исследованы с помощью фотометрии. На рисунке 1 представлены результаты измерения пропускания и поверхностного сопротивления осажденных пленок. Как видно воздействие ионного пучка значительно изменяет оптические и электрические свойства пленок. Причем электрическое сопротивление пленок не пропорционально зависит от времени облучения.

Исследование структуры пленок на рентгеновском дифрактометре показали, что осажденные пленки имеют кристаллическую структуру (минимальный размер зерна 9,7 нм), которая после воздействия ионов Ar модифицируется в квазикристаллическую (аморфную).

Изменение оптических и электрических свойств пленок является следствием процессов происходящих при взаимодействии ионов аргона с атомами, составляющими пленки. Основная доля ионов в пучке имеет энергию порядка 400 – 600 эВ. При таких значениях энергии происходит упругое взаимодействие с атомами осажденной пленки [1]. Этот процесс связан с передачей энергии ионов что может, приводит как разрыву, так и

образованию химических связей, что вызывает десорбцию или химическую реакцию, изменяющие структуру пленки.

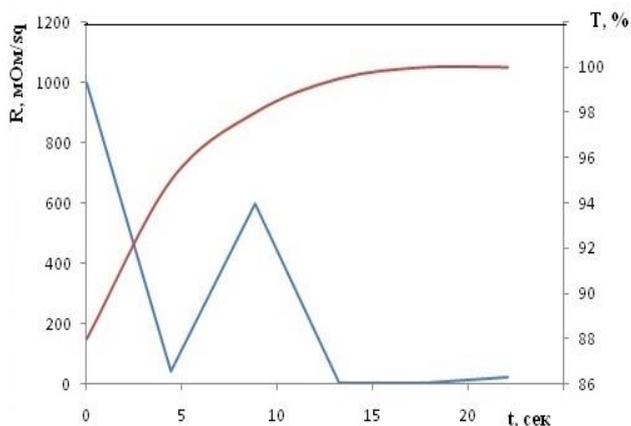


Рисунок 1. Зависимость пропускания и электрического сопротивления от времени облучения

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Umnov S.P., Asainov O.Kh. Changes in the Spectral Characteristics of Aluminum Films deposited under Assisting Argon Ion Beam // Advanced Materials Research. – 2015. – Vol.1084. – Pp. 11–15.

#### ГЕНЕРАЦИЯ ОЗОНА В ВОЗДУХЕ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Ш.Р. Ходжамкулова, Д.Ю. Колоколов, В.В. Ежов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр.Ленина,30, 634050

E-mail: [shohistuli4ka91@mail.ru](mailto:shohistuli4ka91@mail.ru)

Озон является идеальным экологически чистым и одним из самых сильных окислителей, способным вступать в химические реакции при нормальном давлении и температуре окружающей среды.

В отличие от других окислителей озон в процессе реакции не образует никаких продуктов, которые загрязняли бы окисляемое вещество или окружающую среду. Он полностью расходуется на окисление, таким образом процесс восстановления является решающим при выборе того или иного окислителя, т.к. часто задача отделения продуктов восстановления окислителя от обрабатываемого вещества представляет значительные трудности, а иногда и вовсе практически невыполнима. Применение озона способствует решению проблемы обеспечения безотходных экологически чистых технологий и производств [1].

В настоящее время одной из самых больших и острых проблем современности являются экологические проблемы, такие как: обработка сточных вод, как хозяйственных объектов, так и промышленных предприятий, в свою очередь промышленность является главным потребителем большинства природных ресурсов и главным загрязнителем окружающей среды, а также, проблемы, связанные с загрязнением пресной воды. Сточные воды промышленных предприятий содержат большое количество тяжелых металлов, продуктов нефтепереработки, биологически стойких органических веществ. Для решения этой проблемы важную роль отводят генерации озона, так как озон является одним из сильнейших окислителей способным разлагаться до кислорода [1]. Рядом исследовательских работ показано, что зонирование сточных вод позволяет добиться следующих результатов: окисление органических и неорганических соединений; обесцвечивания воды; дезодорация воды, содержащей

вещества биологического происхождения и загрязнённую органическими веществами; очистка стоков, содержащих нефть, нефтепродукты и фенолы; очистка стоков, содержащих, нитросоединения, канцерогенные и другие вещества.

В данной работе представлено исследование генерации озона импульсным электронным пучком. Измерение массовой концентрации озона в воздухе производилось газоанализатором модели «Циклон – 5.11, [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пушкарев А. И., Сазонов Р.В. Исследование распределения энергии сильноточного импульсного электронного пучка по глубине слоя воды // Известия Томского политехнического университета. - 2007. - Т. 311. - № 2 – 2007. - С. 51-54
2. ООО НовоХим [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.novohim.com/product\\_info.php?products\\_id=1774](http://www.novohim.com/product_info.php?products_id=1774). – 31.03.2015.

#### ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ ЗУБОЧЕЛЮСТНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

Ю.М. Черепенников<sup>1</sup>, Е.М. Караваева<sup>2</sup>, В.Н. Никитин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера,  
Россия, г.Пермь, ул. Петропавловская, 26, 614990

<sup>3</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Россия, г.Пермь, Комсомольский проспект, 29, 614990

E-mail: [nikitinvladislav86@gmail.com](mailto:nikitinvladislav86@gmail.com)

На сегодняшний день использование компьютерной и магнитно-резонансной томографии в стоматологии набирает популярность. До недавнего времени основными методами диагностики зубочелюстной системы являлись ортопантомография (панорамный снимок лицевой части черепа) и телерентгенография (фронтальный и боковой снимки), в основе которых лежит эффект поглощения доли излучения рентгеновских лучей и ослаблении излучения при прохождении через ткани. Недостатками этих рентгеновских методов являются: 1) искажение полученной информации ввиду получения двумерного снимка; 2) невозможность оценить состояние мягких тканей (мышц, сухожилий и связок). Заменявший их компьютерная томография, в основе которой лежит также рентгеновское излучение, позволяет получить трехмерный снимок, но он также мало информативен при оценке мягких тканей.

Магнитно-резонансная томография – метод, основанный на регистрации отклика атомов водорода, возникающего при переходе из возбужденного состояния, созданного мощным магнитом, в невозбужденное и высвобождении энергии. Этот метод позволяет оценить состояние и костных, и мягкотканых структур [1], но он не всегда на данный момент назначается стоматологами при лечении, видимо из-за того, что стоматологи только качественно оценивают состояние мышц, проводя пальпацию мышц, и диска височно-нижнечелюстного сустава при открывании нижней челюсти.

Плюсами магнитно-резонансной томографии являются: 1) оценка положения диска височно-нижнечелюстного сустава относительно суставных поверхностей верхней и нижней челюстей; 2) определение координат точек крепления мышц к челюстям и кратчайшего расстояния между суставными поверхностями. На

основе этой информации возможно провести биомеханический анализ усилий *in vivo*, возникающих в зубочелюстной системе, при сжатии челюстей для выбора правильной тактики ортопедического лечения и выбора ортопедической конструкции, восстанавливающих дефекты зубных рядов. На данный момент биомеханический анализ усилий проведен для случая *in vitro* [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Raadsheer M.C., Van Eijden T.M., Van Spronsen P.H., Van Ginkel F.C., Kiliaridis S., Prahl-Andersen B. A comparison of human masseter muscle thickness measured by ultrasonography and magnetic resonance imaging // Arch. Oral Biol. – 1994. – Vol. 39, № 12. – P.1079–1084.
2. Никитин В.Н., Тверье В.М., Няшин Ю.И., Оборин Л.Ф. Реакция височно-нижнечелюстного сустава и усилия жевательных мышц // Российский журнал биомеханики. – 2014. – Т. 18, № 2. – С. 194–207.

### ОЦЕНКА УРОВНЯ СТЕРИЛЬНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОЦЕССЕ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ

И.Н. Шейно, А.В. Гордеев

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Россия, г.Москва, ул. Живописная, 46, 123182

E-mail: [igor.sheino@rambler.ru](mailto:igor.sheino@rambler.ru)

В качестве критерия оценки уровня стерильности продукции после облучения в дозе  $D$  обычно используется математическое выражение для величины SAL (Sterility Assurance Level — гарантированный уровень стерилизации), определяющей вероятность наличия жизнеспособных микроорганизмов в единице продукции после облучения [1]:

$$SAL(N_0, D) = 1 - [1 - S(D)]^{N_0}, \quad (1)$$

где  $N_0$  - инициальная контаминация микроорганизмов (bioburden level) в единице продукции;  $S(D)$  – функция выживаемости микроорганизмов при облучении в дозе  $D$ .

Определить значения критерия SAL по выражению (1) можно только в предположении, что вся популяция микроорганизмов облучается в одной и той же дозе. Однако при облучении упаковок стерилизуемой продукции в общем случае в нем формируется некоторое распределение дозы, определяемое неравномерностью и флуктуациями поля излучений внутри облучаемой упаковки. Распределение дозы, как правило, имеет стохастический характер, которое можно описать функцией плотности распределения вероятности —  $P(D)$ . В этом случае вероятность выживаемости совокупности  $N_0$  микроорганизмов в упаковке стерилизуемой продукции определяется оценкой математического ожидания величины:

$$SAL(N_0, \{D_n\}) = 1 - \prod_{n=1}^{N_0} [1 - S(D_n)], \quad (2)$$

где случайные величины  $D_n$  распределены по закону  $P(D)$ .

Заметим, что при облучении в одинаковой дозе ( $D_n = D$ ) формула (2) тождественна определению SAL по выражению (1).

Оценка значения критерия SAL по формуле (2) проводится методом Монте-Карло.

Функция распределения  $P(D)$  определяется нами по выборочным данным экспериментальных измерений доз в упаковке стерилизуемой продукции. Эта задача сводится к подбору аппроксимирующего

распределения для функции плотности вероятности  $P(D)$  из класса экспоненциальных распределений Гентлемана-Назарова [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davis K.W., Strawderman W.E., Whitby J.L. The rationale and a computer evaluation of a gamma irradiation sterilization dose determination method for medical devices using a substerilization incremental dose sterility test protocol. //J. Appl. Bacteriol, - 1984. - 57, 31.
2. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. - Л.: Энергоатомиздат, - 1991. - 304с.

#### КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТНОСТИ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Э.Б. Шошин<sup>1</sup>, Т.В. Смекалина<sup>1</sup>, А.И.Финтисов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Е-mail: [shoshin45@mail.ru](mailto:shoshin45@mail.ru)

<sup>2</sup>Открытое акционерное общество «Сатурн»,

Россия, г.Краснодар, ул. Солнечная, 6, 350072

Одним из видов альтернативных источников энергии являются солнечные батареи, основой которых являются фотопреобразователи. Обнаружение повреждений фотопреобразователей и системы коммутации солнечных батарей на больших площадях является серьезной проблемой. Существующие методы контроля по темновым и световым характеристикам панелей солнечных батарей дают только интегральные параметры. Для локализации дефектных фотопреобразователей необходима индивидуальная подсветка каждого элемента с измерением его характеристик, что является очень трудоемкой, с большими затратами времени, работой.

Данная проблема может быть решена с помощью метода лазерного сканирования. Нами разработан автоматизированный комплекс лазерного сканирования для обнаружения повреждений фотопреобразователей и системы коммутации солнечных батарей. Комплекс позволяет выявить неисправные элементы при построчном сканировании панели солнечных батарей с указанием координат дефектного элемента.

Структурная схема комплекса представлена на рис. 1 и состоит из следующих основных компонентов:

1. Персональный компьютер (ПК)
2. Микропроцессорный контроллер (МК), связанный с ПК последовательным интерфейсом
3. Сканирующее устройство (СУ), работающее под управлением МК, обеспечивающее при этом необходимый закон сканирования панели БС и обработку сигнала отклика на выходных клеммах панели при ее локальном возбуждении лазерным лучом.

Микропроцессорный контроллер предназначен для управления приводом сканирующего устройства, обработки выходного сигнала БС для определения дефектности элемента панели, индикации результата контроля и организации обмена по заданному протоколу с персональным компьютером. Осуществляет непосредственное управление сканирующим устройством по нескольким фиксированным либо загружаемым от ПК программам, селекцию и измерение величины отклика и индикацию годности тестируемого элемента по трехуровневой шкале (красный светодиод – дефект, желтый светодиод – годный частично, зеленый светодиод – годный).

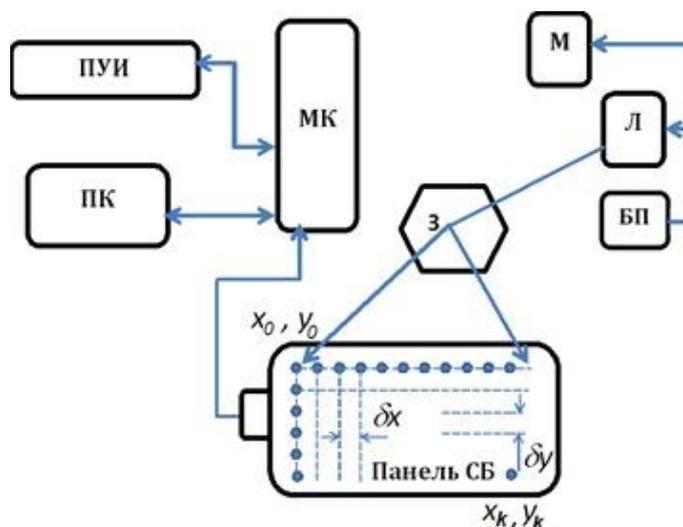


Рисунок 1. Автоматизированная система контроля элементов солнечных батарей

ПК – персональный компьютер, ПУИ – пульт управления и индикации, МК – микропроцессорный контроллер, З – зеркало, Л – лазер, М – модулятор, БП – блок питания

Использование пульта управления позволяет организовать работу микропроцессорного контроллера как в автономном режиме (при этом выполняется ручное и автоматическое сканирование заданной оператором зоны), так и осуществлять автоматическое сканирование с остановкой луча на дефектном элементе, и т.д. (набор функций может варьироваться). Данные, полученные в результате контроля, поступают на ПУИ в ПК, который, помимо операций диагностики и управления, осуществляет ведение архива, статистическую обработку и составление технических паспортов на изделия.

Сканирующее устройство осуществляет отклонение модулированного лазерного луча с помощью зеркала, поворот которого производится независимо по ортогональным направлениям с помощью шаговых приводов через редукторы. Величина шага по каждому из направлений в плоскости панели составляет 2 мм, из расчёта по 2000 позиций по каждой координате. Регулировка горизонтального положения устройства осуществляется управлением луча лазера. Модуляция лазерного сигнала и последующая частотная селекция сигнала-отклика позволяют осуществлять контроль как при естественном дневном свете, так и при электрическом освещении. Выходной сигнал от испытуемой панели подается на МК по коаксиальному кабелю. Одновременно с движением луча осуществляется измерение сигнала от панели и индикация результата контроля.

Программное обеспечение МК обеспечивает автономную работу СУ по командам, поступающим от ПУИ, и организацию взаимодействия с ПК в соответствии с заданным протоколом обмена. Порядок работы с МК сводится к включению питания блока и сканнера; в дальнейшем задается режим работы комплекса как в автономном режиме, так и совместно с ПК.

Технические характеристики сканирующего устройства

1. Максимальная площадь сканирования БС –  $4 \times 4 \text{ м}^2$ .
2. Обеспечивается возможность изменения масштаба и положения зоны сканирования по 4-м реперным точкам по командам с ПУ и ПК.

3. Обеспечивается возможность ручного и автоматического сканирования по командам с ПУ и ПК.
4. Обеспечивается возможность повторного сканирования с остановкой лазерного луча на обнаруженном дефекте.
5. Обеспечивается регистрация переменного сигнала с БС с частотой 1,5 кГц и амплитудным напряжением (1-100) мВ.
6. Разрешающая способность при горизонтальном и вертикальном сканировании 2 мм при расстоянии до БС 2000 мм.
7. Обеспечивается запоминание координат, уровня сигнала с БС и передачу информации на ПК на расстояние 300 м.
8. Питание от сети напряжением 220 В  $\pm$  10 % и частотой 50 Гц.
9. Габариты механического сканирующего устройства – 400×360×500 мм<sup>3</sup>.
10. Габариты пульта управления – 450×300×120 мм<sup>3</sup>.

#### РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

В.С. Яковлева<sup>1</sup>, П.М. Нагорский<sup>2</sup>, К.С. Рябкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3, 634055

E-mail: [vsyakovleva@tpu.ru](mailto:vsyakovleva@tpu.ru)

Научным коллективом [1] был предложен комплексный подход к радиационному мониторингу, который реализуется с конца 2008 г. и технология которого постоянно совершенствуется. Одной из задач исследования является разработка методики тематической обработки архивных данных мониторинга метеорологических и радиационных величин, которая определяется областью применения результатов. Результаты радиационного мониторинга также используются для проверки адекватности существующих моделей переноса радионуклидов, а также особенностей переноса ионизирующих излучений в городской атмосфере.

Комплексный подход к радиационному мониторингу позволил получить ряд новых важных научных находок. Например, была выявлена иная, отличающаяся от традиционных представлений зависимость объемной активности (ОА) радона (плотности потока альфа-излучения) от высоты над земной поверхностью. Традиционные модели [2] показывают экспоненциальное снижение объемной активности радона с ростом высоты. Наши результаты показали, что с ростом высоты до 25-30 м плотность потока альфа-излучения возрастает в несколько раз, это же справедливо и для радона. Объяснением такой особенности поведения радона является влияние городской инфраструктуры. Вблизи от экспериментальной площадки расположены высотные здания, которые могут влиять на турбулентные процессы и перенос воздушных масс.

Таким образом, в случае городской атмосферы требуется усовершенствование моделей переноса радионуклидов, с учетом полученных нами результатов. Кроме того, увеличение ОА радона с высотой следует учитывать также и при моделировании уровней радона внутри помещений многоэтажных зданий, поскольку,

проветривание помещений может приводить не к снижению уровней радона, согласно традиционным представлениям, а к их увеличению.

Анализ результатов радиационного мониторинга показал, что при моделировании переноса ионизирующих излучений внутри городской черты необходимо учитывать городские сооружения, как источники ионизирующего излучения, а также изотопов радона и дочерних продуктов их распада.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП № 14.575.21.0105.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Яковлева В.С., Каратаев В.Д., Вуколов А.В., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М., Смирнов С.В., Фирстов П.П., Паровик Р.И. Методология многофакторного эксперимента по процессам переноса радона в системе «литосфера–атмосфера» // АНРИ. – 2009. – № 4. – С. 55–60.
3. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection, Earth Sciences, and the Environment / Eds. S.A. Durrani and R. Ilić. – Singapore: World Scientific, 1997. – 387 p.

### РАСЧЕТ ВЫХОДНЫХ ДОЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИШЕНИ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

#### ЭЛЕКТРОННОГО УСКОРИТЕЛЯ ЛУ-8-2

Н.Н. Курапов, А.В. Тельнов, М.И. Хромяк

Федеральное государственное унитарное предприятие

Российский федеральный ядерный центр –

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики,

Россия, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 39, 607190

E-mail: [telnov@expd.vniief.ru](mailto:telnov@expd.vniief.ru)

С целью оптимизации радиографического режима работы электронного ускорителя ЛУ-8-2 проведено расчетное моделирование мишенного узла. Данная работа состоит из двух основных этапов. Первым этапом является подбор материалов и геометрических размеров узлов мишени тормозного излучения. Вторым этапом является расчет численными методами выходных дозовых характеристик мишени тормозного излучения и корректировка геометрических параметров узлов мишени для получения равномерной дозы по площади поверхности исследуемого объекта.

В работе определена геометрия выходного коллиматора мишени тормозного излучения. Рассчитана толщина вольфрамового конвертера, позволяющая эффективно преобразовывать энергию электронного пучка ускорителя ЛУ-8-2 в тормозное излучение. Также определены форма, размеры и материал фильтра на выходе мишенного узла.

Методом Монте-Карло произведен расчет спектров квантов тормозного излучения, проходящих через поверхность на расстоянии один метр от мишени. Получено распределение квантов тормозного излучения и поглощенная доза по перпендикулярной оси мишенного узла поверхности на расстоянии один метр от конвертера мишенного узла. С помощью коллиматора из меди с углом при вершине конуса  $20^\circ$  тормозное излучение на одном метре от мишени образует пятно диаметром  $\sim 300$  мм с неравномерностью плотности потока квантов тормозного излучения не хуже  $\pm 10\%$ . При токе ускоренных электронов 250 мкА расчетная средняя мощность дозы на расстоянии один метр от конвертера мишенного узла составляет около 3 кРад/мин.

---

# Секция 6

---

Актуальные вопросы  
ядерного  
нераспространения,  
безопасность и экология  
ядерной отрасли

## REMOTE CONTROL OF AN INTERNAL SAFETY BARRIERS STATE OF SHUT DOWN IUGR

A.O. Pavliuk<sup>1</sup>, S.G. Kotlyarevsky<sup>1</sup>, E.V. Bespala<sup>2</sup>, A.M. Izmetiev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> JSC «Pilot and Demonstration Center for Uranium-Graphite Nuclear Reactor Decommissioning»,

Russia, Tomsk region, Seversk, Avtodoroga, 13, 636000

<sup>2</sup> Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk region, Tomsk, av. Lenina 30, 634050

E-mail: [bespala\\_evgeny@mail.ru](mailto:bespala_evgeny@mail.ru)

At the present time 13 Industrial Uranium-Graphite Reactors (IUGR) in Russia are at stage of preparation for decommissioning and stage of decommissioning.

There is «Concept of decommissioning of IUGR by variant of radiation-free burial on a place» approved 12.28.2009. According of this concept safety during decommissioning of IUGR is carried out by reliable isolation of solid radioactive waste (SRW) in the territory of placement of IUGR. Therefore, radiation safety of staff, population and environment for entire period of potential danger are provided.

Implementation of pilot project is finished on a base of JSC «PDC UGR» for realization of this concept. Closing stage of this project is creation of internal barriers of safety by void-free filling of cavities by friable barrier materials in reactor spaces and technological placements [1,2].

Damaging of integrity of safety barriers because of external influences of natural or technogenic origin can lead to contact of radwaste with water and migration of radionuclides out of stopped IUGR. Therefore, it's necessary to control a state of created internal safety barriers using remote (nondestructive) methods. In this case tightness of object will be kept.

Method of control of internal safety barriers in burial ground of IUGR is developed and tested by staff of JSC «PDC UGR» developed and [3]. According to this method, inspection channels are installed in various places of reactor during decommissioning of IUGR. This channels are used for radiation logging, which widely applied in geophysics. For control of internal metalware position use gamma-logging, for identify places of shrink barrier materials and drowning use pulsed neutron gamma and neutron-neutron logging.

The inventive method allows to organize a system of control of cavities formation and drowning in the event of their occurrence. Moreover, this method makes it possible to determine possible changes position the main structure of the reactor during a long period of conservation (burial).

### REFERENCE

1. Izmetiev A., Pavliuk A., Kotlyarevsky S. Application of void-free filling technology for additional safety barriers creation during uranium-graphite reactors decommissioning // Advanced Materials Research. – 2015. – V.1084. – PP. 613-619.
2. Pat. 2015112186 RF.MPK14 G21C11/00 Method of void-free filling of the reactor space during the decommissioning of Uranium-Graphite nuclear reactor / A.M. Izmetiev, E.S. Paderin, A.O. Pavliuk, E.V. Bespala, S.G. Kotlyarevsky. St. 05.04.2015. – 16 P.
3. Pat. 2015103823 RF.MPK14 G01V5/12 A method for controlling the stability of the internal security barriers in placement of preservation uranium-graphite reactor // A.M. Izmetiev, E.S. Paderin, A.O. Pavliuk, E.V. Bespala, S.G. Kotlyarevsky. St 05.02.2015. – 19 P.

## SOME REMARKS TO RISK ASSESSMENTS OF NUCLEAR POWER PLANTS

A.N. Valyaev, G.M. Aleksanyan, O.O Arkhipkin

Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences

Russian Federation, Moscow, 52 B. Tulsкая, 115191

E-mail: [anvalyaev@mail.ru](mailto:anvalyaev@mail.ru)

Today NPP using for energy production is constantly increasing in the world with the growth of different threats, for example, caused by directed terrorist attacks. It is necessary to make possible correct assessments of corresponding risks levels in common case and for the single specific NPP from moment of this NPP projecting, building and especially during its exploitation. It demands to provide exclusive attention and special conditions under realization of complex integrated emergency NPP management [1].

We use our universal formula for assessment of the total vector of limited losses under NPP exploitation for the fixed time interval under the following assumptions [2]: (1) at initial state the object is in normal (non accidents) exploitation; (2) the different kinds of accidents may be occurred as noticed  $i=2, 3, \dots, m$ , where  $m$  is the total number of possible accidents ( $m=1$  is corresponded to the normal regime); (3) every accident may create the different kinds of losses. (4) realization of  $i$  accident creates the loss of  $j$  kind with  $P_{ij}$  probability,

$$\vec{a}_{lim} = P(1)\vec{a}_{1n} + \sum_{i=2}^m \hat{P}_{ij}\vec{a}_j \quad (1)$$

Here  $j$  is the kind of loss with  $a_j$  value. Then  $j = 1, 2, \dots, n$ , where  $n$  is the total number of possible kinds of losses; where  $P(1)$  is the probability of loss formation under normal exploitation;  $\vec{a}_{1n}$  is the vector of limited loss under regular exploitation.  $P_{ij}a_j$  coordinate vector value in sum is equal the loss value of  $j$  kind under realization of  $i$  kind accident. Thus, the matrix of loss probabilities is determined. Under absent of accidents  $\vec{a}_{lim}$  total vector is determined only the first part of (1) formula.

The main problem is the assessment of loss probability matrix elements. If representative statistic data, obtained for long NPP exploitation period are present, then some of its elements may be assessed by statistic methods. We have predicted the irradiation doses and corresponded risks for population under implementation of Russian Federal Program: "Development of Russian atomic energy industrial complex on 2007-2020 years at 10 homeland NPP that operated during some last decades [3]. However, early some types of NPP disasters were absent at researched NPP. Using of classic methods of expertise assessments is not correct in this case.

Some needed data may be obtained from the primary virtual computer tests of concrete NPP with imitation of possible disasters. It allows to assess risk values and also to plan the actions for NPP operators and special services under serious NPP disasters or may be to prevent them at all. These problems are under consideration in our communication.

## REFERENCES

1. Valyaev A.N., Aleksanyan G.M., Valyaev A.A. Integrated Emergency Management and Risks for Mass Casualty Emergencies Proceedings of the 7<sup>th</sup> Chaotic Modeling and Simulation International Conference Lisbon, Portugal, 7 - 10 June 2014, pp. 507-522.
2. Valyaev A.N., Kazakov S.V., Passel H.D., et. al Assessments of Risks and Possible Ecological and Economic Damages from Large-Scale Natural and Man-Induced Catastrophes Ecology-Hazard Regions of Central Asia and the Caucasus, in NATO Science for Peace and Security Series -C: Environmental Security, Proc. of NATO Advanced Research Workshop: «Prevention, Detection and Response to Nuclear and Radiological Threat», May 2-7, 2007 Yerevan, Armenia, Editors: S. Apikyan et. al. Published House: Springer, Netherlands, 2008, pp. 281-299.

3. Valyaev A.N., Krylov A. L., Semenov V.N., Nikolisky D.V. Prediction of irradiation doses for population under implementation of Russian Federal Program: «Development of Russian atomic energy industrial complex on 2007-2020 years», Ibidem, pp.294- 308. in Proceeding of the NATO Advanced Research Workshop: “Stimulus for Human and Societal Dynamics in the Prevention of Catastrophes: NATO Science for Peace and Security Series. E: Human and Societal Dynamics” –(2011), vol. 80, pp.172-188, IOS Press –Amsterdam – Berlin – Tokyo –Washington, D.C., Edited by Arman Avagyan, David L. Barry, Wilhelm G. Goldewey, Dieter W.G. Reimer.

#### ESTIMATION OF THE POSSIBILITY OF EXPOSED LONG-TERM CONSERVATION OF STRUCTURAL ELEMENTS MADE OF ZIRCONIUM ALLOY DURING THE DECOMMISSIONING OF URANIUM-GRAPHITE REACTORS

A.O. Pavliuk, S.G. Kotlyarevsky, E.V. Bepala, A.M. Izmistiev

JSC «Pilot and Demonstration Center for Uranium-Graphite Nuclear Reactor Decommissioning»,

Russia, Tomsk region, Seversk, Avtodoroga, 13, 636000

E-mail: seversknet@rambler.ru

During the decommissioning of some uranium-graphite reactors (UGR) by variant of "safe disposal on the spot" [1] there is a problem dealing with the structural elements of the zirconium alloys. Dealing with irradiated items of this alloys is difficult. As a result of prolonged irradiation to neutron flux they accumulate long-lived radionuclides  $^{94}\text{Nb}$  ( $T_{1/2}=2.03 \times 10^4$  years) and  $^{93}\text{Zr}$  ( $T_{1/2}=1.5 \times 10^6$  years). The levels of specific activity of the radionuclides and can relate to the categories of intermediate-level and high-level waste. Decay of the isotope  $^{94}\text{Nb}$  accompanied by the emission of high-energy gamma rays ( $E_{\gamma}=703$  keV and  $E_{\gamma}= 871$  keV realize 100%). This leads to high levels of gamma radiation and imposes restrictions on the admission of staff in dealing with irradiated zirconium details.

In accordance with the classification criteria set forth in the Resolution of the Government of the Russian Federation of 19.10.2012 №1069 considered various options for the treatment of zirconium radioactive waste of UGR. Firstly, their removing and conditioning if it will be classified as a removed radioactive waste. Secondly, they are not withdrawing from the reactor if it will be classified as category of special waste.

In order to substantiation of a choice the most cost-effective modality for the treatment of radioactive waste, consisting in the long-term conservation of irradiated structural elements of zirconium alloys (without their extraction from reactor) using a barrier material were the following studies. Activity and nuclide composition were identified, stability of properties under different storage conditions radioactive waste were examined, corrosion properties were identified and resistance of nuclides of leaching from irradiated zirconium alloy were estimated. In addition, sorption properties of the clay barrier material in relation to radionuclides contained in the radioactive waste of zirconium alloy were identified.

The results obtained by leaching of isotopes of niobium and zirconium were consistent with the data of corrosion studies of non-irradiated zirconium. This fact confirms the high corrosion resistance of the fuel channels of irradiated zirconium alloy. There have been no significant release of isotopes of niobium and zirconium alloy E110. Leaching was observed only for  $^{60}\text{Co}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , present in the sediments at the surface of the fuel channels.

The results of the shown that the sorption properties of the barrier material from a mixture of natural clays provide containment in the event of radionuclides out of the irradiated material alloy barrier. It is proved that the presence of radionuclides sorbed effectively barrier material.

## REFERENCE

1. Izmetiev A., Pavliuk A., Kotlyarevsky S. Application of void-free filling technology for additional safety barriers creation during uranium-graphite reactors decommissioning // Advanced Materials Research. – 2015. – V.1084. – PP. 613-619.

### EXPERIMENTAL SIMULATION OF THE RADIONUCLIDE BEHAVIOR IN THE PROCESS OF CREATING ADDITIONAL SAFETY BARRIERS IN SOLID RADIOACTIVE WASTE REPOSITORIES CONTAINING IRRADIATED GRAPHITE

A.O. Pavliuk, S.G. Kotlyarevsky, E.V. Bepala, A.M. Izmetiev

JSC «Pilot and Demonstration Center for Uranium-Graphite Nuclear Reactor Decommissioning»,

Russia, Tomsk region, Seversk, Avtodoroga, 13, 636000

E-mail: seversknet@rambler.ru

The majority of the at-reactor repositories of the shut down Industrial Uranium-Graphite Reactors (IUGR) were in operation for 35÷40 years. They have played their positive part in providing the radiation safety of the personnel, population, and the environment in accordance with the regulatory requirements in effect in 50s-70s of the previous century. There are several dozen at-reactor repositories at the IUGR sites of the Russian Federation where irradiated graphite-containing solid radioactive waste (SRW) of the reactor origin is currently located.

To date the nuclear legacy at-reactor repositories do not entirely pass strict modern requirements imposed on the storage of radioactive materials. Those requirements could be only met if additional engineered safety barriers are created in the existing at-reactor repositories so that in combination with the repository confining rocks (natural barrier) they make a multi-barrier protective system. The developed system of barriers should provide the SRW disposal conditions for the radionuclide migration to be possible merely by means of the diffusion processes. The radionuclide diffusion coefficients in the barrier material should be as low as to ensure the level of activity emerging out of the boundaries of the repository to be within the intervention level, i.e. the regulated parameters defining the boundary between the radioactive and non-radioactive medium.

At the JSC Pilot and Demonstration Center for Uranium-Graphite Nuclear Reactor Decommissioning (JSC "PDC UGR") an option of creating the additional protective barriers by means of filling the free repository space by a clayey solution [1] is being considered as a promising solution for the problem.

To prove the efficiency of the technique proposed for the creation of engineered clay barriers, a repository mockup has been fabricated at the JSC "PDC UGR". It used to conduct a series of runs aimed at the simulation of the radionuclide behavior when creating additional protective barriers in the existing repositories

As result, during more than two years of observation no significant distribution of radionuclides in the rock has occurred, even though under the maintained conditions of the constant wetting. It proves the high anti-migration and anti-filtration properties of clay used for the barrier material.

The results obtained can be used as an initial data for the verification of the simulation models and the forecast radionuclide migration calculations for the efficiency assessment of the protective barrier installation in a repository.

## REFERENCE

1. Pat. 2357308 RF.MPK6 G23F9/00. A Technique for the long-term storage of solid radioactive wastes / V.V. Vainstein, E.V. Zakharova, E.A. Komarov, Claimed 26.06.2008; Published 27.05.2009. Bul. №6.

## THE NEUTRONIC CALCULATION AND OPTIMIZATION OF SCHEMES OF STORAGE SPENT NUCLEAR FUEL

M.N. Plevaka, K.A. Savasichev, S.V. Bedenko

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin st., 30, 634050

E-mail: [batkamaxno2010@mail.ru](mailto:batkamaxno2010@mail.ru)

Today the improving of efficiency of nuclear power is the result of the decision of two basic problems. The first one, it is recovery of uranium from spent nuclear fuel and return it to the nuclear fuel cycle. The second problem is the increase of burnup of usual fuel and new types of fuel compositions such as (Pu, Th)O<sub>2</sub>, (U, Pu)O<sub>2</sub>, UC / (U, Pu)C, UN / (U, Pu)N [1-3]. The solution of these problems, in turn, leads to an increase in the volume of spent nuclear fuel, the complexity of ecological conditions, nuclear and radiation hazards of existing reactors and reactor facilities of the new generation. Nowadays in Russia there is one vexed problem, it is storage of spent nuclear fuel (SNF) of uranium-graphite reactors and others reactor facilities whose fuel is not reprocessed and stored in the intermediate-storage pools in Nuclear Power Plant [1].

In this work, the conceptual approaches and features of exploitation of technical systems of «dry» storage of spent ceramic nuclear fuel after thermal reactors are considered. The results of numerical studies aimed at determining the neutron-physical and radiation characteristics of spent ceramic nuclear fuel. The studies will allow to develop technical and regulatory solutions when handling perspective spent fuel of new generation reactor facilities. [1-3]. On the basis of numerical studies it's possible to create the safe circuits of layout and permutations of spent nuclear fuel in systems of conservation and transportation, if it is necessary, to develop technological regulations of removal from service of these systems including the possible dismantling and disposal of individual nodes. The study was supported by grants of the President of the Council of the Russian Federation. Competition for the scholarship of the President of the Russian Federation for young scientists and graduate students. Grant number SP-295.2015.2.

### REFERENCES

1. Stroganov A.A., Kyriyudin A.V., Anikin A.Y. Analysis of the compliance of the Russian and international regulatory framework for the regulation of safety during transportation of radioactive materials and spent nuclear fuel // Nuclear and Radiation Safety. – 2011. – № 3. – P. 23–25.
2. Shamanin I.V., Bulanenko V.I., Bedenko S.V. The field of neutron radiation of ceramic SNF of different types // News of high school. The nuclear power engineering. – 2010. – № 2. – P. 97–103.
3. Bedenko S.V., Gnetkov F.V., Kadochnikov S.D. The dose characteristics of neutron fields of ceramic nuclear fuels of different types // News of high school. The nuclear engineering. – 2010. – № 1. – P. 6–12.
4. Bedenko S.V., Plevaka M.N., Knyshev V.V., Savasichev K.A. The study of neutron-physical characteristics of perspective ceramic spent nuclear fuel and optimization schemes it's storage // Abstracts of the V International School-Conference of Young Nuclear Workers of Siberia. – 2014. – P. 78.

## CREATION OF AUTOMATED TRAINING SYSTEM OF CONTROL AND ACCOUNTING OF NUCLEAR MATERIALS

A. Bashlai, A. Stepanova, A. Godovykh

National Research Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [stepanova\\_n93@mail.ru](mailto:stepanova_n93@mail.ru)

In the world, considerable efforts are made to ensure safe handling with nuclear materials (NM). Besides, safe handling is aimed at ensuring safety and continuity of knowledge on nuclear material. This implies three main

components of safe handling: physical protection, control and accounting of nuclear materials.

The main purpose of the activities on accounting and control of nuclear materials - providing the enterprise with the possibility of determining available amount of nuclear material, as well as providing with necessary information to compile, register and keep records and reports in the enterprise. In addition, properly organized control and accounting (C&A) system of NM should contribute to the prevention of loss of nuclear material, as well as its theft and unauthorized use and movement [1].

In C&A of nuclear materials, information technologies occupy a special place. The amount of information on nuclear material which must be collected, processed, stored and used in procedures related to accounting and control requires the use of modern computer technologies. In parallel with the creation of these blocks we were working on the developing of a laboratory course in two directions – bar coding and databases in computerized system of accounting and control of NM.

Thus, by now, the following results of the work have been achieved:

- Database showing the main functions of the system of accounting and control of NM has been designed.
- For a training laboratory a training system of automated data collection has been created, which helps demonstrate the operation of the system of accounting and control on a conditional enterprise.
- A number of laboratory works have been developed in two directions - bar coding and databases in computerized system of accounting and control of NM.

Further, it is proposed to develop the block “Physical inventory”, namely the study of methods and procedures for physical inventory, control methods of nuclear materials, as well as the development of methodological recommendations for the use of the training system.

#### REFERENCES

1. The Black and White Solution: Bar Code and the IBM PC – Russ Adams and Joyce Lane, Helmers Publishing, ISBN 0-911261-01-X, p. 169.

#### THE APPLICATION OF IDENTIFICATION METHODS IN SECURITY SYSTEMS OF NUCLEAR FACILITIES

A. Stepanova, A. Bashlai

National Research Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [stepanova\\_n93@mail.ru](mailto:stepanova_n93@mail.ru)

To fulfill the requirements of nonproliferation of nuclear material (NM) at a nuclear facility (NF), it is necessary to implement activities designed to ensure physical protection of nuclear materials (NF), nuclear installation (NI) and storage facilities (SF). Proper organization the pass regime is the basis of the physical protection system. It is a combination of organizational-legal restrictions and rules, establishing the procedure for crossing check points on the borders of protected zones, as well as separate buildings and premises of facility personnel.

The mechanism for the implementation of the CRC is based on the application of the relevant prohibitions and restrictions in relation to subjects crossing the borders of protected objects, to ensure the safety of nuclear facilities. Such a mechanism should be obliged to conform to norms and rules of physical protection of NM, NF and SF [1].

One element of the pass regime is a system to monitor and control access of complex of technical means of physical protection of nuclear facilities. The system provides an exception or substantial difficulty in unauthorized access of violators into protected zones and facilities. Check of access rights is carried out by identifying and personalization of facility's personnel. An identifier may be an electronic key card-pass, a personal code or individual biometric data of the person (fingerprint, voice, iris is, etc.) [2].

A detailed analysis of existing methods and means of identification in order to analyze the effectiveness of their use in safety systems of NF has been carried out in the work. Design features of the various ways and methods of identification based on implemented system to monitor and control access "KODOS» and «Biosmart» have been considered [3]. The recommendations on accounting opportunities technology, based on the objectives of protection of the object, the degree of threat and economic factors have been made.

#### REFERENCES

1. "The approval of rules for the physical protection of nuclear materials, nuclear plants and storage facilities of nuclear materials: Resolution of the Government of the Russian Federation" № 456, 19.07.2007.
2. V.A.Vorona, V.A. Tikhonov, "Access monitoring and control system: a tutorial", М.: Goryachaya Liniya - Telecom, 2010
3. D.E. Evdokimov, "Reliability and security in AMCS", Sistemy bezopasnosti, №5, pp 20-25, 2006.

#### ВЫБОР СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПО КРИТЕРИЮ «ЭФФЕКТИВНОСТЬ-СТОИМОСТЬ»

Ю.Р. Абузарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [y.abuzarova93@gmail.com](mailto:y.abuzarova93@gmail.com)

Одной из составляющих обеспечения режима ядерного нераспространения является подготовка квалифицированных кадров по вопросам учета и контроля, физической защиты ЯМ. Проектирование эффективных СФЗ проводится в учебном процессе.

Целью данной работы явилось разработка методики оценки системы физической защиты по критерию «эффективность-стоимость» по нескольким выбранным вариантам построения системы безопасности.

Детальный анализ конкурирующих технических средств, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку их предложения изменяются.

Такой анализ помогает вносить коррективы в выбор структуры проектируемой СФЗ. Важно оценить эффективность элементов комплекса инженерно-технических средств физической защиты не только по фактическим показателям, но и по экономическим параметрам.

С решения данной задачи может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики комплекса и устройств;
- конкурентоспособность текущего устройства;
- бюджет на разработку устройства;
- уровень проникновения на рынок (доступность для установки и использования).

Важно учитывать критерий «эффективность-стоимость» при выборе варианта СФЗ. Если система будет рассчитана на более слабую потенциальную угрозу, то надлежащая защита не будет обеспечена. Если же СФЗ будет избыточна по составу, то это чревато излишними капитальными и эксплуатационными затратами.

Определение эффективности применения устройства можно произвести на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Их сравнение позволяет определить и выбрать более эффективный вариант решения поставленной задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Предлагаемый анализ конкурентных технических решений с позиции экономической эффективности позволяет провести оценку сравнительной стоимости СФЗ и определить направления для оптимизации ее структуры.

## РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е.В. Артемов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [evgeniy1.artemov@gmail.com](mailto:evgeniy1.artemov@gmail.com)

Использование свойств нейтронного излучения получило обширное применение в различных областях промышленности и науки. Но при этом нейтронное излучение является угрозой для жизни и здоровья человека, в связи с этим возникает потребность в использовании защиты от нейтронного излучения, при этом необходимо учитывать особенности нейтронного излучения, так как его проникающая способность выше, чем у любого другого ионизирующего излучения.

Целью данной работы является расчет необходимой защиты от нейтронного излучения источника ИБН-10 и проектирование конструкции защиты. Источник применяется для радиоизотопных приборов, в качестве образцовых средств измерений, а также для экспериментальных работ. Источник нейтронов ИБН-10 состоит из двойной капсулы, изготовленной из коррозионностойкой стали, с активной частью в виде таблетки из интерметаллического соединения диоксида плутония с порошком бериллия. Измеренное значение потока быстрых нейтронов от источника в телесный угол  $4\pi - 1,01 \cdot 10^7$  нейтр./см<sup>2</sup>с. Средняя энергия нейтронов 4,5 МэВ.

В качестве защитного материала используются блоки из чистого полиэтилена. Используется полиэтилен высокой чистоты так, что он не будет содержать элементов, которые могли бы активировать нейтроны, поверхность блоков из полиэтилена гидрофобна, в случае загрязнения ее можно очистить.

Расчет защиты производился методом решения стационарного уравнения диффузии с использованием 26 групповой системы констант:

$$D_i \Delta \Phi_i(r) - \sum_a^i \Phi_i(r) - \sum_s^i \Phi_i(r) + \sum_{k=1}^{i-1} \sum \Sigma^{k \rightarrow i} + S = 0$$

где  $D_i$  - коэффициент диффузии нейтронов  $i$ -ой группы;  $\Phi_i(r)$  - поток нейтронов в  $i$ -ой группе;  $\sum_a^i$  - макроскопическое сечение поглощения нейтронов  $i$ -ой группы;  $\sum_s^i$  - макроскопическое сечение увода

нейтронов из  $i$ -ой группы;  $\sum^{k \rightarrow i}$  - макроскопическое сечение прихода нейтронов в  $i$ -ую группу за счет упругого и неупругого рассеяний;  $S$  - источник нейтронов.

На основе использования системы 26-групповых констант рассчитаны спектры потоков нейтронов, которые могут быть использованы при построении защиты от нейтронного излучения. Построены зависимости характеризующие групповые переходы нейтронов, а также спектр нейтронов в зависимости от расстояния до источника. Рассчитано необходимая толщина защиты из полиэтилена.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
2. Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений. – М.: АП “Столица”, 2013. – 496 с.
3. Бойко В.И. Методы и приборы для измерения ядерных и других радиоактивных материалов. – М.: МНТЦ, 2011. — 356 с.
4. Абагян Л.П. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1964. – 122 с.

#### КОНТРОЛЬ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Бородач, Н.А Невоструев, В.В Дисюк, А.И Карпенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [vigoole2009@yandex.ru](mailto:vigoole2009@yandex.ru)

Задача определения содержания делящихся материалов (ДМ) в изделиях ядерной энергетики практически стоит на большинстве стадий их изготовления и обращения с ними. Это напрямую связано с безопасностью эксплуатации ядерно-энергетических установок, системой учета ядерных материалов и проблемой их нераспространения.

В настоящее время наиболее распространенными источниками первичных излучений, которые используются при проведении контроля ядерных материалов, являются источники нейтронов и гамма-квантов (в том числе и рентгеновские). Источники других частиц практически не нашли своего применения в контроле ДМ вследствие низкой проникающей способности в инспектируемые образцы и, как следствие этого, значительного эффекта экранировки. Имеется большой выбор различных внешних источников излучений, использование которых для какой-либо установки определяется конкретными условиями и целями контроля ДМ (точностью измерений, их экспрессностью и т.д.). К наиболее распространенным типам источников относятся следующие:

- 1) радионуклидные источники;
- 2) источники нейтронов спонтанного деления трансурановых элементов;
- 3) источники излучений, основанные на применении ускорительной техники;
- 4) ядерный реактор.

По виду излучения их можно разделить на следующие основные типы:

- 1) нейтронные;
- 2) фотонные.

В общих случаях применение активных методов контроля может проводиться для целей учета и контроля ядерных материалов, проверки наличия ДМ в замкнутых объемах, не подлежащих вскрытию,

проверки предшествующего анализа ДМ, а также для контроля качества ядерных материалов и соответствия их заявленным характеристикам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекурц К., Вирц К. Нейтронная физика. М.: Атомиздат, 1968.
2. Горбачев В.М., Замятнин Ю.С., Лбов А.А. Взаимодействие излучений с ядрами тяжелых элементов и деление ядер: Справочник. М.: Атомиздат, 1976.
3. Лос-Аламосская энциклопедия по использованию неразрушающих методов анализа для обеспечения гарантий / Пер. с англ. Киев, 2000.
4. Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы. М.: Энер-гоатомиздат, 1985.
5. Radiation detection from fission, J.T.Michalczko. ORNL TM-2004 234 Oak Ridge.

### СОЗДАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕЙСТВИЙ НАРУШИТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «НАРУШИТЕЛЬ – СФЗ»

А.В. Буковецкий<sup>1</sup>, Б.П. Степанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральная ядерная организация Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Горно-химический комбинат»,

Россия, Красноярский край, г. Железногорск, пр. Ленина, 53, 662972

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: antaresbav@tpu.ru

Совершение нарушителем несанкционированных действий в отношении ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов представляет собой совокупность целенаправленных действий по преодолению рубежей охраны, перемещению по охраняемой территории ядерного объекта (ЯО) в направлении мест размещения предметов физической защиты (ПФЗ), участию в боестолкновении с силами охраны. В этом случае время, необходимое нарушителям для выполнения поставленной задачи, может быть разбито на интервалы времени преодоления элементов маршрута, а также времени действий с целевым предметом [1]. Время движения по участку между выделенными рубежами защиты определяется скоростью движения нарушителей, характером и протяжённостью преодолеваемого участка, действиями сил охраны. Анализ характера противодействия системе «нарушитель-система физической защиты (СФЗ)» позволяет выделить основные характеристики нарушителей (техническое оснащение, уровень физической подготовки, численность группы) и применяемой ими тактики (силовой, скрытой, обманной или смешанной), влияющих на значение показателя эффективности СФЗ [2].

Проведенный в работе анализ основных вопросов, возникающих при проведении оценки эффективности СФЗ ЯО, позволяет сделать вывод о необходимости получения более детального и адаптированного значения времени преодоления нарушителем реально установленных физических барьеров комплекса инженерно-технических средств физической защиты. Предлагается применить для данных целей алгоритм описания движения нарушителя по территории объекта и преодоления рубежей охраны, учитывающий его оснащённость, физические и психофизиологические особенности человеческого организма при противодействии системе безопасности, а также другие показатели, влияющие на возможности совершения несанкционированных действий в отношении ПФЗ. Применение данного подхода при формировании исходных данных для целей оценки СФЗ потребует в дальнейшем создания аналитической

модели действия нарушителя в условиях противодействия в системе «нарушитель – СФЗ» при максимальном учете внутренних и внешних факторов, обеспечивающих максимальную защищенность ПФЗ на ЯО от осуществления противоправных акций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fennelly, L. Effective Physical Security, 4 ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2013. – 365 p.
2. Fischer, R.J., Halibozek, E., Green, G. Introduction to Security, 8th ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2008. – 528 p.

#### ТОПЛИВО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ, СНИЖЕНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ

И.В. Васильков, И.И. Локтев

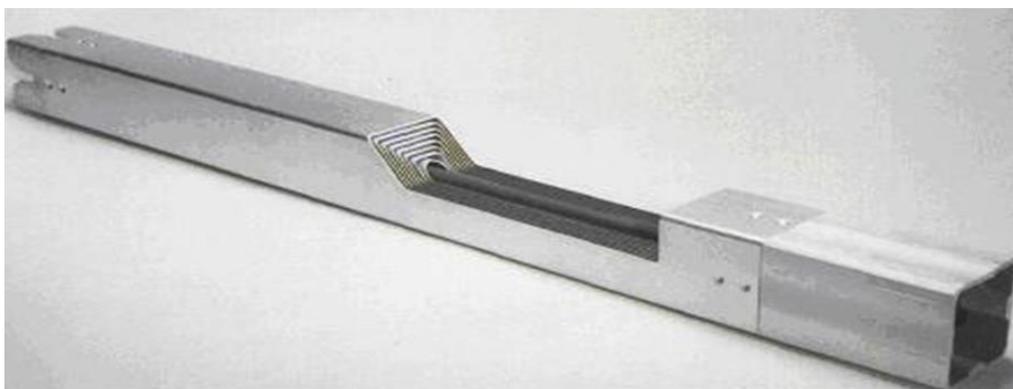
Публичное акционерное общество "Новосибирский завод химконцентратов"

Россия, г.Новосибирск, ул. Б.Хмельницкого, 94, 630110

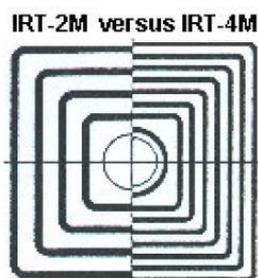
E-mail: loktev@nccp.ru

Опасность неконтролируемого распространения делящихся материалов стала ощущаться сразу после создания ядерного оружия. Быстрое распространение исследовательских реакторов, гражданского назначения в десятках стран заставило ведущие в ядерной области страны использовать в зарубежных реакторах топливо только низкого обогащения. Однако это направление быстро достигло своего технического предела и через десять лет после провозглашения странами МАГАТЭ тезиса "Атом для мира" оказалось, что более чем в 40 странах, работали реакторы с топливом оружейного сорта. Появление новых стран обладателей ядерного оружия, активизация терроризма, подхлестнуло страны к принятию действенных мер по нераспространению делящихся материалов. Был разработан ряд специальных международных программ, наиболее известная из них – программа RERTR. Она предназначена, главным образом, для решения самой главной технической проблемы - снижение содержания U-235 в топливе исследовательских реакторов. Разработка новых технологий без повышения их эксплуатационных свойств, удорожание продукции, возможная потеря рынка для изготовителей - вот факторы, которые сдерживали выполнение программ RERTR.

Новосибирский завод химконцентратов включился в разработку новых технологий с самого начала их инициирования.



*Рисунок 1. Топливные сборки для исследовательского реактора ИРТ-3М, на основе дисперсионного топлива UO<sub>2</sub>, U-Мо сплава с содержанием урана 19,5%, 36%, 90%.*



*Рисунок 2. Сравнительные размеры труб топлива ИРТ с различным топливом*

На первом этапе были использованы топливные материалы разной структуры и плотности: уран-алюминиевые композиции, окислы урана. Затем было освоено изготовление ТВС тех же типоразмеров с топливом повышенной плотности -  $U_3Si_2$ . Сегодня освоена технология изготовления ТВС с высокоплотным U-Mo дисперсионным топливом, в том числе и ТВС западного дизайна.

## **ВЛИЯНИЕ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ РАДИАЦИОННЫХ ПОРТАЛЬНЫХ МОНИТОРОВ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Е.А. Власенко, А.В. Дудкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [vlasenko\\_zhene@mail.ru](mailto:vlasenko_zhene@mail.ru)

Исследованы особенности функционирования радиационных портальных мониторов (РПМ) ядерных материалов в реальных условиях ядерного объекта, а также с учетом требований государственного стандарта [1] проведена оценка влияния алгоритмов их работы (непрерывный контроль и автоматический контроль по датчику присутствия) на основные показатели надежности РПМ, в числе которых вероятность безотказной работы и вероятность ложных срабатываний [2, 3].

Вероятность безотказной работы РПМ, работающего в режиме автоматического контроля по датчику присутствия, несколько ниже. В то же время, при низкой интенсивности проходов (проездов) вероятность ложного срабатывания такого РПМ значительно меньше вероятности ложного срабатывания РПМ, работающего в режиме непрерывного контроля. При этом резкое увеличение интенсивности проходов (проездов) приводит к заметному возрастанию функции вероятности ложного срабатывания.

Тот или иной алгоритм работы РПМ целесообразно применять в зависимости от конкретных условий эксплуатации (численности персонала объекта, частоты проходов (проездов), особенностей пропускного режима, а также режима работы предприятия).

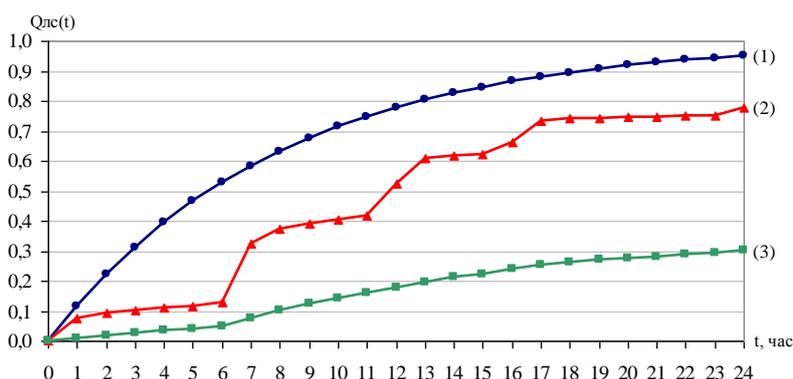


Рисунок 1. Вероятность ложного срабатывания: РПМ, работающего в режиме непрерывного контроля (1), пешеходного РПМ, работающего в режиме автоматического контроля по датчику присутствия (2), транспортного РПМ, работающего в режиме автоматического контроля по датчику присутствия (3)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 51635-2000 «Мониторы радиационные ядерных материалов. Общие технические условия».
- Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надёжности. Практикум. – СПб: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
- Шкляр В.Н. Надёжность систем управления: учебное пособие. – Томск.: Издательство ТПУ, 2009. – 126 с.

## МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ГЕОХИМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Гарпацкий

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [garapatski@tpu.ru](mailto:garapatski@tpu.ru)

Представлены результаты изучения железосодержащих фаз в геологических образцах с помощью абсорбционной мессбауэровской спектроскопии (ЯГР). Измерения проводились на поверхностных пробах и пробах из кернов скважин нефтедобывающих районов. Работа проведена в рамках изучения процессов эпигенетических изменений, протекающих в породах над скоплениями углеводородов, влияющих на появление здесь характерных вторичных парагенезисов минералов и химических элементов, а также решений широкого круга прикладных задач, связанных с комплексной эколого-геохимической оценкой территорий деятельности предприятий ядерно-топливного цикла, использованные при оценке Томской области.

Эксперимент проводился на спектрометре ЯГРС-4 с  $\gamma$ -источником  $^{57}\text{Co}(\text{Cr})$  на линии 14,4 кэВ в режиме постоянных ускорений в интервале температур 295К. Изомерные химические сдвиги измеряли относительно  $\alpha$ -Fe. Нормировка шкалы:  $1\text{мм/с} = 4,8 \cdot 10^{-8}$  эВ. Для модельной расшифровки спектров была использована программа SPECTR, входящая в состав программного комплекса MSTools.

Получены данные о структурных, электронных и спиновых состояниях ионов железа для различных структурных фаз [1, 2, 3]. ЯГР-спектры всех поверхностных проб имеют вид, характерный для парамагнитного состояния ионов железа - дублетный, определяемый наличием лишь электрических электронно-ядерных взаимодействий. Эти дублеты имеют на изомерный сдвиг и квадрупольное расщепление систематику в зависимости от координационного числа железа.

ЯГР спектры 1-й серии поверхностных проб представлены суперпозицией 4-х дублетов. Один дублет приписан ионам  $\text{Fe}^{2+}$  и три дублета  $\text{Fe}^{3+}$ . Основная часть железа находится в высшей степени окисленности (III)-дублеты а, b, с. Однако, существенна доля  $\text{Fe}^{2+}$ , которая отражают присутствие силикатов. Анализ ЯГР-

спектров этих поверхностных проб показывает слабо развитый оксидогенез железа. На это указывает сохранность литогенных Fe(II)-минералов, а также отсутствие (гидр)оксидов железа с достаточно крупными и упорядоченными частицами, такими как гематита  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  или гетита  $\alpha\text{FeOOH}$  (их спектры не обнаружены). В ЯГР-спектрах 2-й серии поверхностных проб выделены два дублета b и c, между которыми проявляется корреляция от места отбора над залежами углеводородов и вне. Дублеты b и c с предельно большим расщеплением приписаны позиции  $\text{Fe}^{3+}$ , возможно в дитригональной полости матрицы или полиоксокатионной разновидности в межслое. Для  $\text{Fe}^{3+}$  (b и c) распределение квадрупольных расщеплений является результатом переменной окружающей среды, которая определяет следующие требования на идентификацию этой конфигурации: не ионно-обменная; очень деформированное место и имеет относительно слабую связь; состояние, способствующее структурному коллапсу, во время которого происходит значительное растворение. Окончательный вывод можно будет сделать по возможности расщепления спектра при низкотемпературном измерении.

Пробы 3-й серии отбирались из кернов контурных и законтурных скважин. ЯГР-спектры представляют собой или квадрупольные дублеты, или их сумму с зеемановскими секстетамы, отражающими наличие в минералах магнитного упорядочения. Секстет ( $\text{Fe}^0$ ) (у четырех образцов) принадлежит  $\alpha\text{-Fe}$ , имеющего  $H_l=33.04$  Т. Точность измерения этой фазы железа составила 1%. Обнаружение  $\alpha\text{-Fe}$  в пробах представляет особый интерес в науках о Земле.

По результатам обработки измеренных ЯГРС спектров определены степень окисленности по соотношению  $\text{Fe}^{3+}/\Sigma\text{Fe}$  и парциальные спектры, отражающие отдельные валентно-координационные состояния ионов железа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комский Н.М., Трофименко Г.Л. Некоторые особенности эпигенеза глинистых пород нефтегазоносных площадей. // Геохимия. – 1986. – № 7. – С. 1012–1019.
2. Коровушкин В.В., Голева Р.В. Мессбауэровская спектроскопия в решении задач экологии. // Вестник Краунц. Серия Науки о земле – 2004. – № 4. – С. 40–50.
3. Grodzicki M., Lebernegg S.H. Computation and Interpretation of Mossbauer Parameters of Fe-bearing Compounds.- Department of Materials Research and Physics University of Salzburg, Austria. <http://www.researchgate.net/publication/>

### ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ПУЧКА ФОТОНОВ

В.М. Головков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [golovkov@tpu.ru](mailto:golovkov@tpu.ru)

Распространение ядерного оружия или ядерных материалов, представляет серьезную угрозу международному миру и безопасности, особенно если они попадут в руки лиц, способных совершить акты ядерного терроризма.

Для обнаружения нелегальной деятельности с использованием ядерных материалов и устройств необходимы технические средства их обнаружения в различных ситуациях. В частности, такая необходимость возникает при таможенном контроле грузов, пересекающих границу, при контроле мобильных объектов (автомобилей, малых судов) вне пунктов пропуска, а также при контроле других объектов.

В докладе дан обзор существующих методов обнаружения ядерных материалов и обоснована перспективность метода обнаружения ядерных материалов с помощью импульсного пучка фотонов [1].

На основе численного моделирования переноса импульсного пучка фотонов тормозного излучения с граничной энергией 30 МэВ и рожденных фотонейтронов в объектах, в которых находится и отсутствует скрытый ядерный материал, определены отличительные особенности и получены характеристики потока вторичных нейтронов, выходящих из объекта [2,3].

Показано, что при воздействии на объект импульсным пучком фотонов высокой энергии можно обеспечить обнаружение ядерных материалов с высокой избирательностью и чувствительностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головков В.М., Чахлов В.Л., Штейн М.М. Способ и устройство для обнаружения делящихся материалов. Патент на изобретение РФ №2249201, G01N/23, приоритет от 15.03.2003, опубл. 27.03.2005 Бюл. №9.
2. Исаев В.В., Головков В.М. Программа расчета генерации вторичных нейтронов при воздействии электромагнитного излучения на гетерогенные объекты // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 09.01.2014 № 2014610380
3. Головков В.М. Численная модель генерации нейтронов в гетерогенном объекте под действием импульсного тормозного излучения // Известия вузов. Физика, т.57, №11/2, 2014. – С. 316 — 320.

#### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАБОРА ПАРАМЕТРОВ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА FRAM НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Д.Ф. Гончаров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [dmitry.goncharov.1994@gmail.com](mailto:dmitry.goncharov.1994@gmail.com)

Гамма-спектрометрические методы анализа, основанные на исследовании энергетических спектров гамма-излучения, получили широкое распространение в сфере атомной энергетики, в частности, в области учета и контроля ядерных материалов[1]. Такой метод имеет ряд преимуществ, такие как высокая точность и малые затраты времени, а также возможность проводить как качественный, так и количественный анализ, а также он является методом неразрушающего анализа.

Исследования делящегося материала гамма-спектрометрическим методом проводились с использованием программного пакета FRAM. FRAM – программный пакет, реализующий метод соотношения пиков полного поглощения для анализа спектров амплитуд импульсов, полученных с детекторов гамма-излучения высокого разрешения. Для расчёта изотопного состава FRAM использует известные фундаментальные параметры – такие, как периоды полураспада и квантовые выходы линий[2]. Данный способ расчета обеспечивает независимость результатов анализа от размеров, формы и химического состава образца, геометрии измерения и параметров контейнера, а также, отсутствует необходимость в калибровке с помощью стандартных образцов, что делает использование данного пакета экономически выгодным.

В качестве делящегося материала был выбран образец стандартного изотопного состава урана, обогащенного до 90% по изотопу  $U^{235}$ . Для измерений использовался германиевый полупроводниковый коаксиальный детектор производства фирмы Canberra. Программный пакет FRAM позволяет устанавливать различные коэффициенты, учитывающие уникальность образца, его материального состава, геометрического параметра. Однако производителем предусмотрено четыре стандартных настройки. В работе произведено сравнение измеренных величин обогащения при разных стандартных настройках.

В результате эксперимента, были сделаны следующие выводы: погрешность измерений сильно зависит от правильного выбора параметров; для образца с обогащением 90% по изотопу  $U^{235}$  подходит только одна из стандартных настроек, так как измерения с использованием остальных настроек имеют погрешность больше 5%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы измерений ядерных материалов: учеб. пособие для вузов / Бушуев А.В. – М. : МИФИ, 2001. – ISBN 5-7262-0386-0.
2. Томас А. Келли, Томас Е. Семпсон, Доротея Де Лэнн. PC/FRAM: Алгоритмы для измерения изотопного состава плутония с помощью гама-спектрометрии. Перевод с английского. Лос-Аламос, Нью-Мексико, 87545, США.

#### МЕТОДЫ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

В.В. Дисюк, А.И. Карпенко, Н.А. Невоструев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [valek\\_diss@mail.ru](mailto:valek_diss@mail.ru)

На сегодняшний день проблема утилизации радиоактивных отходов находится в центре внимания специалистов по всему миру, однако до сих пор не найдено приемлемого способа ее решения. Варианты решения проблемы обсуждаются научными сообществами и имеются различные предложения.

Целью данной работы является ознакомление с основными методами переработки РАО и требованиями к подготовке к захоронению.

К радиоактивным отходам относятся не подлежащие дальнейшему использованию вещества, материалы, смеси, изделия, удельная активность техногенных радионуклидов в которых превышает минимально значимой удельной активности. В настоящее время освоен ряд методов переработки радиоактивных отходов, для которых ведутся работы по усовершенствованию, например, методы прессования, сжигания, остекловывания, очистки и др. В то же время ряд новых методов проходит стадию апробации полупромышленных масштабах.

На данный момент одним из основных способов утилизации радиоактивных отходов остаётся их захоронение. Так как технологии не совершенны и пока еще не позволяют полностью избавиться от РАО, то самым оптимальным выходом будет отходы преобразовывать в такой вид, который был бы стабилен и не опасен, и воздействие атмосферы не влияло бы на их хранение.

Метод остекловывания является самым оптимальным для сокращения объёмов РАО, а схема захоронения РАО в цементной матрице по принципу "вложенности", позволяет решить проблему иммобилизации и захоронения большинства видов РАО с минимальными затратами, так как утилизируемая среда, затворенная в цементную матрицу, практически используется в качестве строительного материала, и сама создает защитные барьеры, в первую очередь для более высокоактивных отходов. Многобарьерность системы изоляции РАО обеспечивается взаимным расположением кондиционированных отходов, когда матричный материал менее активных РАО служит барьером, предотвращающим или сдерживающим миграцию радионуклидов из матричного материала более высокоактивных РАО. Сбалансированное сочетание компонентов такой многобарьерной системы делают ее приемлемой для надежной изоляции РАО и обеспечивают безопасность для их хранения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батюхнова О.Г., Бергман К. Швеция и др., Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами // Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2005, с. 135 - 143.
2. Дмитриев С.А., Баринов А.С. и др., Технологические основы системы управления радиоактивными отходами – М.: ГУП НПО Радон, 2007.

### РОЛЬ И ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУРНЫХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ЯДЕРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

Н.П. Дронишинец, Н.А. Носырев, Г.С. Зиновьев

Новоуральский технологический институт НИЯУ МИФИ,

Россия, г. Новоуральск, ул. Ленина 85, 624130

Е-mail: [dronishinets1@yandex.ru](mailto:dronishinets1@yandex.ru)

Японскую АЭС Фукусима сейчас знает, вероятно, каждый человек на планете, но мало кому известна другая японская АЭС – Онагава. Не случайно в оглавлении некоторых научных публикаций, пытающиеся объяснить причины аварии с учетом национальных и культурных факторов, заключен вопрос: «Почему вы еще не слышали об АЭС Онагава после землетрясения и цунами 11 марта 2011 г.?» [1]. Интерес к проблеме влияния культурных и национальных факторов на ядерную безопасность возрос после публикации доклада комиссии японского парламента по расследованию аварии на Фукусиме, которая пришла к выводу, что инцидент на АЭС явился результатом человеческой халатности, а не стихийного бедствия. Комиссия пришла к выводу, что ядерную аварию могли предотвратить. Выводы комиссии имеют новый подтекст. Если предыдущие расследования в качестве причин аварии на Фукусиме называли стихийное бедствие, то комиссия парламента называет среди трех виновников аварии на АЭС и японскую культуру: японское рефлексивное послушание; японское нежелание подвергать сомнению власть, беспрекословное следование инструкциям; японский группизм и изолированность [2, р 9.] .

АЭС Онагава располагалась значительно ближе к эпицентру землетрясения, чем АЭС Фукусима, но она фактически не пострадала. При строительстве АЭС Онагава Я. Хираи, единственный инженер, настоял поднять защитную дамбу на высоту 14,8 м, вместо указанной в нормативах 12-метровой высоты. Отстаивая чрезмерные меры безопасности, Хираи поставил под сомнение авторитет других специалистов, что противоречило традициям японской культуры. Еще одним фактором, не приведшим к катастрофе подобной Фукусиме, является высокая культура управления на АЭС Онагава. Таким образом, АЭС Онагава осталась не поврежденной, хотя подверглась такому же бедствию, как и Фукусима. Следовательно, не японская культура является одной из причин аварии на АЭС Фукусима, а различная корпоративная культура ядерной безопасности на этих АЭС [3].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Why You Haven't Heard About Onagawa Nuclear Power Station after the Earthquake and Tsunami of March 11, 2011. Nuclear Safety Culture in TEPCO and Tohoku Electric Power Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www-bcf.usc.edu/~meshkati/Onagawa%20NPS-%20Final%202003-10-13.pdf> – 15.04.2015
2. The National Diet of Japan. The official report of Executive summary. The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.nirs.org/fukushima/naic\\_report.pdf](http://www.nirs.org/fukushima/naic_report.pdf). - 16.04.2015.
3. Дронишинец Н.П., Носырев Н.А. Японская культура и её влияние на культуру ядерной безопасности АЭС // Всероссийская научно-техническая конференция «Тенденции и инновации современной науки»: статьи, тезисы докладов. Трехгорный, 25 апреля 2014 г., с.34-36.

## ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОРТАЛЬНЫХ МОНИТОРОВ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Дудкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [kardan97@yandex.ru](mailto:kardan97@yandex.ru)

В настоящее время в системах физической защиты ядерных объектов всё большее распространение получают радиационные портальные мониторы (далее РПМ) ядерных материалов – пороговые устройства, предназначенные для обнаружения ядерных материалов и радиоактивных веществ по их гамма- и/или нейтронному излучению при перемещении через контрольно-пропускные пункты. Обнаружение ядерных материалов осуществляется путём сравнения уровня излучения от контролируемого объекта с уровнем окружающего гамма- и/или нейтронного фона.

Большинство РПМ, производимых в настоящее время в России и за рубежом, соответствуют третьей категории по порогу обнаружения урана и плутония. Для транспортных РПМ этот порог соответствует 64 г урана и 1 г плутония, в то время как первой категории соответствует порог 3 г урана и 0,1 г плутония [1]. Данное обстоятельство не позволяет полностью исключить возможность несанкционированного перемещения ядерных материалов в малых количествах без обнаружения РПМ.

Сложность обнаружения ядерных материалов в требуемых количествах обусловлена необходимостью контроля достаточно большой области пространства, через которую за ограниченный промежуток времени перемещается поток людей, грузов или транспорта. Особенно эта проблема актуальна для железнодорожных РПМ.

Уменьшению порога обнаружения РПМ способствует [2]:

1. Оптимизация количества блоков детектирования и геометрии их взаимного расположения.
2. Совершенствование конструкции блоков детектирования: выбор оптимального размера сцинтиллятора, повышение эффективности светособирания, применение современных материалов, способствующих более эффективной регистрации излучения. Также важную роль играет подбор оптимальной геометрии и размеров коллиматора для уменьшения влияния окружающего фона на РПМ.
3. Оптимизация алгоритмов обработки сигналов, поступающих от блоков детектирования, а также алгоритма работы РПМ в целом. Прежде всего, важен выбор алгоритма измерения фона: постоянное значение, новое значение через заданный промежуток времени, «бегущее среднее».
4. Уменьшение электронных шумов и искажения полезного сигнала в узлах РПМ путём применения современной малошумящей электроники.
5. Применение характерных для ядерных материалов свойств нейтронного и гамма-излучения (характерные линии пиков гамма-спектра, энергетический спектр нейтронов).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51635-2000 «Мониторы радиационные ядерных материалов. Общие технические условия».
2. Dudkin A.V. Radiation Portal Monitors: Problems and Development Prospects // Advanced Materials Research. – 2015. – Vol 1084. – pp. 702-707.

## ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ

С.Р.Зинатулина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

e-mail: [Safina\\_0194@mail.ru](mailto:Safina_0194@mail.ru)

Защита информации в автоматизированных системах управления безопасности ядерного объекта должна предусматривать меры по контролю и управлению обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности информации, находящейся в обработке и хранимой в автоматизированных системах управления. Угрозы, в отношении обеспечения сохранности информации, а именно угрозы конфиденциальности информации, угрозы изменения или искажения, а также хищения или уничтожения, могут быть случайными или преднамеренными.

При использовании автоматизированных систем управления безопасностью на объектах атомной отрасли необходимо создать условия, обеспечивающие минимизацию риска реализации данных угроз в отношении защищенности информации, циркулирующей на объекте. Для этого необходим комплексный подход при проектировании данных систем, учитывающий уязвимые места в составляющих защиты информации: информационной среде, используемой для организации автоматизированной системы управления безопасностью ядерного объекта, в особенностях эксплуатации автоматизированных рабочих мест, и специфики способов накопления и представления информации, находящейся в обработке и хранимой в автоматизированных системах управления безопасностью.

Представлен комплексный подход к защите информации в автоматизированных системах безопасности ядерного объекта, выделены основные задачи обеспечения защиты информации, рассмотрены основные типы угроз и их виды, рассмотрены способы управления безопасностью, выделены основные элементы безопасности, и требования к ним.

## ПРОЦЕСС ОСТЕКЛОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

О.И. Катаева, Ю.В. Ластовец

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [o.i.kataeva@gmail.com](mailto:o.i.kataeva@gmail.com)

Процесс остекловывания является признанным методом обращения с РАО высокой активности в мировой практике. Применение данного метода значительно сокращает объем отходов, в результате чего образуется устойчивая к воздействию окружающей среды и пригодная для долговременного хранения форма РАО. Агентство по охране окружающей среды США выделило этот метод как наилучшую технологию при утилизации высокоактивных отходов. Перспектива использования стекла в качестве иммобилизующей матрицы обусловлена [1]:

- высокой способностью включать в свой состав элементы независимо от заряда и размера их атомов;
- стойкостью к радиационному повреждению благодаря тому, что их собственный беспорядок допускает большое число атомных перемещений;

– относительной легкостью и дешевизной изготовления, поскольку не требует сложного оборудования;

Главным элементом процесса является керамическая печь. Данная печь была впервые разработана в Научно-исследовательском центре, институт ядерной утилизации отходов, Карлсруэ, Германия. В печи область плавления и газовое пространство, которое расположенное выше, окружено специальным термостойким керамическим материалом. Имеются несколько слоев-изоляторов, которые позволяют контролировать теплообменные процессы. Внешний кожух образуется из абсолютно газонепроницаемого корпуса высококачественной стали [2]. В статье описан принцип работы керамической печи, а также изображена упрощенная схема всего процесса остекловывания. Кроме того, рассмотрены основные преимущества иммобилизации РАО с помощью боросиликатных стекол.

Вопрос обращения с РАО высокой активности сегодня актуален во многих странах. Это связано с тем, что на многих АЭС в процессе эксплуатации скопилось большое количество РАО, кроме того в настоящее время многие станции в мире подлежат демонтажу. Сегодня технология остекловывания является лучшей для иммобилизации ВАО. Данная работа была выполнена в результате прохождения научно - исследовательской практики в Научно-исследовательском центре, институт ядерной утилизации отходов, Карлсруэ, Германия.

Поддержка данного проекта осуществлена в рамках благотворительной деятельности, на средства, предоставленные Фондом Михаила Прохорова.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. У.Д. Кингери «Введение в керамику» - 2.е изд. - М.: Издательство литературы по строительству, 1967. - 503с.
2. G/ Roth, «INE's HLLW Vitrification Technology», atw 40. Jg., Heft 3, 1995, S. 144-177

#### ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ РАДОНООПАСНОСТИ В ЧЕШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Ю. О. Ключникова, Н. К. Рыжакова, К. О. Шилова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [julia5558311@gmail.com](mailto:julia5558311@gmail.com)

Известно, что на радон и продукты его распада приходится более половины дозы, получаемой человеком от всех природных источников радиации, поэтому перед проведением строительных работ проводят соответствующие изыскания. Однако при проведении таких работ возникают проблемы как с выбором критериев радоноопасности, так и с достоверностью получаемых результатов [1].

В Российской Федерации критерием радоноопасности территории является измеряемая с помощью накопительных камер величина плотности потока радона (ППР). Однако используемые методики и приборы не позволяют достоверно определить среднее количество радона, выходящего на поверхность грунта [2,3]. В Чешской Республике (ЧР) при оценке радоноопасности территорий проводятся измерения поровой активности (ОА) радона на глубине 0.8 м и воздухопроницаемости грунтов. На основе этих измерений находят радоновый индекс, который определяет категорию грунтов на радоноопасность.

В данной работе описаны методики и приборы для измерения ОА и проницаемости на одной из территорий будущей застройки в ЧР. Измерения, проведенные с помощью двух детекторов – камеры Лукаса и ионизационной камеры - показали, что значения ОА находятся в интервале 77...370 кБк м<sup>-3</sup> и 85...377 кБк м<sup>-3</sup>

соответственно. Рассчитаны средние значения и доверительные интервалы при уровне значимости 0.05, которые для ионизационных камер составляют  $153 \pm 26$  кБк м<sup>-3</sup>, для камер Лукаса -  $153 \pm 25$  кБк м<sup>-3</sup>, т.е. практически совпадают, что свидетельствует о высокой достоверности полученных результатов. Коэффициенты вариации  $OA$  для камер Лукаса и ионизационных камер составляют соответственно 45% и 43%. Значения воздухопроницаемости лежат в интервале  $0,0052 \dots 18$  м<sup>2</sup>, среднее значение и доверительный интервал при уровне значимости 0.05 для этой величины составляют  $6.6 \pm 2.8$  м<sup>2</sup>; коэффициент вариации для проницаемости составляет 113%. На основе проведенного анализа результатов измерения сделан вывод о том, что наблюдаемая разными авторами высокая вариабельность ППР [2, 3] обусловлена в первую очередь высокой изменчивостью проницаемости грунтов в зависимости от атмосферных условий, что также затрудняет использование данной величины для определения радоноопасности территорий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. П.С Микляев, Т.Б.Петрова, А.В.Климшин, А.П. Смирнова. Картирование геогенного радонового потенциала (на примере территории Москвы)// АНРИ. – 2015. - №1. – С. 1-13.
2. Шилова К. О., Рыжакова Н. К., Ключникова Ю. О., Иванов М. И., Матюшкина Ю. А. Анализ методов и результатов измерения выхода изотопа Rn-222 на участке застройки г. Томска // Известия вузов. Физика. - 2015 - Т. 58 - №. 2/2. - С. 172-176.
3. Neznal, Martin – Neznal, Matěj (2002): Measurement of radon exhalation rate from the ground surface: can the parameter be used for determination of radon potential of soils?. In: Radon investigations in the Czech Republic IX and the sixth international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. Czech Geological Survey. Prague. s. 16-25. ISBN 80-7075-585-7.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОЛОКСИДАЦИИ

И.А. Курский, А.В. Васильев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [atomlink@mcc.krasnoyarsk.su](mailto:atomlink@mcc.krasnoyarsk.su)

В качестве одного из перспективных методов подготовки облученного ядерного топлива (ОЯТ) перед гидрометаллургической переработкой значительный интерес представляет метод волоксации – предварительного (перед растворением) окисления топлива при повышенной температуре. Процесс сопровождается выводом в газовую фазу основной массы летучих продуктов деления (ЛПД): благородных газов, соединений йода, трития и др. Это обстоятельство позволяет сконцентрировать ЛПД (главным образом, трития) в сравнительно небольшом объеме газовой фазы, которую можно превратить в форму, удобную для захоронения[1].

Объектом исследования является изучение процесса волоксации необлученного и реального топлива ВВЭР-1000.

Целью данной работы является проверка вариантов волоксации ОЯТ, выполненных при различных условиях.

В качестве исходного материала использовали таблетки ВВЭР-1000.

На первом этапе исследований провели опыты по волоксации двух необлученных таблеток UO<sub>2</sub> без оболочки при температуре  $450 \pm 30^\circ\text{C}$  в течение 2,5 ч смесью газов, содержащей (об. %): N<sub>2</sub> – (48÷77); O<sub>2</sub> – (12÷19,2); CO<sub>2</sub> – (0÷30); H<sub>2</sub>O – (4÷10), без встряхивания.

Показано, что при 20-30 - кратном обмене газовой фазы реактора в час полнота перевода таблеток  $UO_2$  в порошок  $U_3O_8$  составляет более 99%. Образовавшийся порошок закиси-окиси имел насыпную плотность 2-2,5 г/см<sup>3</sup>.

Опыты, проведенные в тех же условиях с двумя необлученными таблетками, помещенными в циркониевую оболочку, показали, что выход  $U_3O_8$  составил 40-60%.

На втором этапе провели опыты по испытанию различных способов волоксидации на необлученных фрагментах в условиях механического воздействия на реакционную камеру (встряхивания) с частотой 1 встряхивание в секунду.

Результаты опытов показывают, что две необлученные таблетки, помещенные в циркониевую оболочку, в течение двух с половиной часов при температуре  $450 \pm 30^\circ C$  в газовой среде (об. %):  $N_2 - (69 \div 75)$ ;  $O_2 - (17 \div 19)$ ;  $CO_2 - (0 \div 10)$ ;  $H_2O - (4 \div 6)$  при встряхивании с частотой 1 раз в секунду и объемной скорости обмена газовой фазы 30 объемов в час, переходят в порошок  $U_3O_8$  на 98,9- 99,3%.

При исключении из исходной газовой смеси азота и кислорода, перехода таблеток  $UO_2$  в порошок  $U_3O_8$  практически не происходит.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.В. Громов, В.И. Савельев, В.Б. Шевченко. "Химическая технология облученного ядерного топлива". М., Энергоатомиздат, 1983 г.

#### ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СФЗ

Д. С. Леонович, Б. П. Степанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [dsl@tpu.ru](mailto:dsl@tpu.ru)

Обеспечение гарантий нераспространения и сохранности ядерных материалов осуществляется за счет создания системы государственного учета и контроля ядерных материалов и физической защиты (ФЗ). Таким образом, на каждом ядерном объекте создается система физической защиты (СФЗ), способная противостоять угрозам в отношении ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения со стороны внешних и внутренних нарушителей.

Процесс создания СФЗ включает в себя анализ уязвимости объекта, проектирование и непосредственное внедрение комплекса инженерно-технических средств ФЗ. При проведении анализа уязвимости выделяются особенности объекта и уязвимые места. Полученные данные учитываются на этапе проектирования СФЗ с учетом оценки ее эффективности.

Целью настоящей работы является оценка возможностей применения специализированных программ для проведения разработки проектной документации технических подсистем СФЗ. Данные программные средства позволяют осуществлять выбор состава оборудования системы охранной сигнализации, системы контроля и управления доступом. Также в работе проводился анализ вариантов охраны объекта и формировалась структура построения СФЗ объекта. На их основе выбирались элементы и устройства комплекса инженерно-технических средств ФЗ.

Сегодня, проектирование эффективной СФЗ – процесс автоматизированный. Существует множество специализированных организационно-технических систем, позволяющих создавать конструкторскую

документацию. Нами для проведения проектирования систем охранной сигнализации выбран комплекс nanoCAD.

Программный комплекс nanoCAD является универсальной графической платформой для систем проектирования различных объектов. В работе рассматривался nanoCAD ОПС, который предназначен для проектирования систем охранной сигнализации и систем контроля и управления доступом. Данный редактор имеет достаточно простой интерфейс и обладает библиотекой готовых условно-графических обозначений. Также комплекс содержит базы технических характеристик основных производителей оборудования («Спектрон», «Рубеж», «Арсенал» и другие).

Изучение основных инструментов nanoCAD ОПС и тестирование программного комплекса позволили получить материалы для формирования исходных данных при проектировании, выделении алгоритмов выбора структур построения СФЗ. Сформулированы рекомендации для его практического применения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исмаилова О. Макарова Т. Комплексы технической защиты объектов: Актуальные вопросы проектирования и внедрения// Алгоритм безопасности. – 2006. – Т.1. - № 4. – С. 24-26.
2. nanoCAD 3.0.: Руководство пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 504с.
3. Рыжова В. А. Проектирование систем безопасности. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 157с.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RFID ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

А.А.Мерзляков, А.В.Годовых

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр.Ленина, 30, 634050

E-mail: [Cannavaro74@mail.ru](mailto:Cannavaro74@mail.ru)

Осуществление безопасности, а также мониторинг за перемещением персонала на предприятии являются одними из ключевых проблем на многих объектах. Существуют множество методов персональной идентификации личности на предприятии. Традиционные методы, основанные на применении паролей или материальных носителей, таких как пропуск или паспорт не всегда отвечают потребностям в области организации точной идентификации личности. Решением этой проблемы может быть разработка пассивной системы безопасности на базе технологии RFID, в которой не происходит взаимодействия человека с системой, посредством физического контакта (прикладыванием карты к считывателю), считывание идентификационных признаков происходит автоматически в радиусе нескольких метров, причем метка не обязательно должна находиться на видном месте, она будет считана из чье-либо кармана или сумки. Также одной из главных составных частей данной системы является система интеллектуального видеонаблюдения, которая дополняет данную систему, отслеживая нарушителей, посетителей, которые попали на территорию предприятия без идентификатора. Данную систему целесообразно использовать на территории с большим количеством людей. Яркий пример, высшее учебное заведение, где постоянные посетители — это студенты, преподаватели, а также работники ВУЗа.

Принцип действия данной системы такой, есть некоторая информационная среда, которая содержит в себе некую интерактивную карту объекта с нанесёнными на неё объектами идентификации. Студентам, преподавателям, выдается идентификатор (RFID-метка), на которой занесены их персональные данные (ФИО, дата рождения, номер группы и т.д.) и при прохождении через терминалы считывания, которые находятся на

входе территории учебного корпуса, информация о посетителе моментально посылается на персональный компьютер, где обрабатывается в базе данных. RFID считывание работает в совокупности с «интеллектуальным» видеонаблюдением, которое продолжает отслеживание целей в режиме многокамерного сопровождения отмечая посетителя на карте учебного заведения, а информационная среда производит ранжирование событий (отклонение от привычного маршрута следования, заход в зоны ограниченного доступа и т.д.).

Соответственно если на территорию проходит посторонний человек, без идентификатора, то видеонаблюдение автоматически фиксирует нарушителя и передает сигнал на пульт управления. Считыватели и интеллектуальное видеонаблюдение располагаются по всей территории учебного корпуса.

В итоге использование данной системы приводит к ряду определенных преимуществ:

1. Регистрация различных ситуаций, таких как время входа или выхода на территорию учебного заведения, нахождения персонала на определенной территории и т.д.;
2. Отслеживание перемещения персонала, работников по территории учебного заведения;
3. Настройка доступа персонала ВУЗа в определённую зону, организация временного доступа в определенной зоне.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

А.В. Никиенко, А.В. Буковецкий

Федеральная ядерная организация Федеральное государственное унитарное предприятие

«Горно-химический комбинат»,

Россия, Красноярский край, г. Железногорск, пр. Ленина, 53, 662972

E-mail: antaresbav@tpu.ru

Качество создания и функционирования системы физической защиты (СФЗ) ядерного объекта (ЯО) должно подтверждаться её оценкой эффективности (ОЭ) [1]. ОЭ СФЗ может осуществляться экспериментально (учения), аналитически или с помощью имитационного моделирования. Определение показателей эффективности СФЗ является одной из наиболее важных задач службы безопасности ЯО, решение которой позволяет выбрать оптимальный вариант построения и совершенствования СФЗ с учетом критерия «эффективность-стоимость».

На сегодняшний день существует несколько методических подходов к ОЭ СФЗ. Основным методом, используемым в настоящее время для ОЭ СФЗ, является вероятностно-временной, отличающийся от остальных подходов обоснованностью и наглядностью результатов [2]. Данный метод был заложен в основу методических рекомендаций, определяющих порядок проведения ОЭ СФЗ для предприятий Госкорпорации «Росатом». В качестве основного критерия ОЭ СФЗ в настоящих методических рекомендациях принимается способность СФЗ пресечь несанкционированные действия нарушителя.

ОЭ СФЗ с применением указанной методики требует проведения большого количества однообразных вычислений, что приводит к необходимости автоматизации этого процесса и к разработке специализированного программного обеспечения. Несмотря на наличие различных программных инструментов, используемых для проведения ОЭ СФЗ ядерных объектов, остаётся актуальным вопрос об учёте индивидуальных особенностей ЯО с целью повышения достоверности получаемых результатов. В данной работе рассмотрены отечественные

и зарубежные программные комплексы для проведения ОЭ СФЗ, а также проведён их сравнительный анализ [3]. Кроме того, рассматриваются возможные пути совершенствования математического аппарата методики проведения ОЭ СФЗ, в том числе способы получения более детального и адаптированного значения времени преодоления нарушителем реально установленных физических барьеров комплекса инженерно-технических средств ФЗ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов. Утверждены Постановлением Правительства РФ от 19 июля 2007 г. № 456.
2. Бояринцев А.В. Проблемы антитерроризма: угрозы и модели нарушителей / А.В. Бояринцев, А.Г. Зуев, А.В. Ничиков. – СПб.: ЗАО НПП «ИСТА-Системс», 2008. – 220 с.
3. Гарсиа М. Проектирование и оценка систем физической защиты / Пер. с англ. В.И. Воропаева, Е.Е. Зудина и др. – М.: Мир, АСТ, 2002. – 386 с.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГРАММЫ КАЛИБРОВКИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ LABSOCS

Т.Г. Никишкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Е-mail: [timofei.nikishkin@gmail.com](mailto:timofei.nikishkin@gmail.com)

Гамма-спектрометрия является одним из наиболее информативных методов неразрушающего анализа ядерных и радиоактивных материалов. Для регистрации гамма-квантов используют в основном германиевые детекторы. Но со временем, под воздействием различных внешних факторов, внешний слой детектора претерпевает некоторые изменения. Вследствие данных изменений, детектор меняет свои характеристики. В частности, изменяется собственная эффективность регистрации, а также эффективность поглощения гамма-квантов детектором.

Калибровка по эффективности и методика измерений значительно влияют на точность измерений. Использование программы математической калибровки по эффективности LabSOCS позволяет наиболее точно провести качественный и количественный гамма-анализ. Программный пакет LabSOCS основан на математической модели детектора, описывающей функцию профиля пространственного и энергетического отклика детектирующей системы на ионизирующее излучение. Такая модель создается при конкретном состоянии детектора, поэтому при изменении эффективности детектора необходимо корректировать математическую модель.

Целью работы является определение погрешности математической модели программы калибровки LabSOCS, созданной 17 июня 2007 года для детектора из высококачественного германия GC1518 производства фирмы Canberra на 2015 год.

Детектор изготовлен из особо чистого германия. Поверхность германия всегда окислена. При этом, окисные плёнки на германии, образующиеся в обычных условиях, имеют пористую структуру и подвержены проникновению из внешней среды различных ионов, которые, адсорбируясь на поверхности германия, создают различные энергетические уровни в виде ловушек заряда.

В экспериментальной части измерены стандартные образцы гамма-излучения и обработаны их спектры по имеющейся математической модели детектора. Полученные результаты значительно отличались от истинных паспортных значений источников, что говорит об несоответствии математической модели реальной

функции профиля пространственного и энергетического отклика детектирующей системы на ионизирующее излучение. Это объясняется изменением детектором своих свойств с того момента как была разработана математическая модель детектирующей системы.

Следовательно, для дальнейшего использования детектора с целью получения наиболее достоверных измерений необходимо создать его актуальную математическую модель, отвечающую реальной функции профиля пространственного и энергетического отклика детектирующей системы на ионизирующее излучение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко В.И., Силаев М.Е. Методы и приборы для измерения ядерных и других радиоактивных материалов. – М.: МНТЦ, 2011. – 356 с.

### ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА В УСЛОВИЯХ НЕСТАНДАРТНЫХ ПОСТУПЛЕНИЙ РАДИОНУКЛИДОВ

А.В. Овчинников, Д.Г. Демянюк, К.М. Изместьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [alviov@ro.ru](mailto:alviov@ro.ru)

Современные знания в области дозиметрии внутреннего облучения, обусловленного нестандартными поступлениями радионуклидов, не позволяют достаточно точно и оперативно определить локализацию и характер поступления. Недостаток исследований наблюдается как в теоретических моделях, так и в практических методах обследования внутреннего облучения персонала. В работе рассмотрен опыт АО «СХК» в области контроля нестандартных поступлений радионуклидов в органы и ткани сотрудников. Даны рекомендации по организации и проведению такого контроля и описан метод локализации раневого поступления.

Описанный метод локализации раневого поступления позволил обеспечить значительное ускорение процесса обнаружения месторасположения радионуклидов в кожных покровах. По результатам проделанной работы показаны следующие преимущества:

- возможность проведения плановых обследований персонала «критической группы» на наличие радионуклидов в мягких тканях кистей рук;
- выявление незарегистрированных случаев раневого или нестандартного поступления радионуклидов, что особенно важно, когда работник не знает о факте поступления радионуклидов в организм;
- сокращение периода контроля позволило повысить оперативность реагирования на незарегистрированные случаи раневого или острого ингаляционного поступления и значительно снизить дозовую нагрузку работника;
- определение места локализации радионуклидов с точностью до 1-2 мм с целью проведения дальнейших действий по иссечению мягких тканей в данной области.

На основе полученных результатов введено плановое ежеквартальное обследование работников критических профессий химико-металлургического производства АО «СХК».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голутвина М.М., Садикова Н.М. Контроль за содержанием радиоактивных веществ в организме человека. М.:Атомиздат, 1979. 135 с.

2. Антипин Е.Б., Поцяпун Н.П., Хохряков В.В. О совершенствовании системы индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала. // Журнал «Анри» - 2011
3. Маслюк А.И., Богданов И.М., Симоненко П.Д. Особенности формирования доз внутреннего облучения персонала плутониевого производства Сибирского химического комбината // Бюллетень Сибирской медицины, - 2005
4. Schofield G.B. Absorption and measurement of radionuclides in wound and abrasions. – Clin. Rad., 1963, v. 15, p. 50-54
5. Johnson L.J., Lawrence J.N.P. Plutonium contaminated wound experience and assay techniques at the Los- Alamos Scientific Laboratory. Health Phys., 1974, v. 27, p.55-59.

## ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНОВ ХРАНИЛИЩ ЖРО В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕ

Е.А. Орешкин, И.В. Шаманин, А.Г. Каренгин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: egor\_ores@mail.ru

За время эксплуатации технологического оборудования на предприятиях ЯТЦ накоплено и размещено в бассейнах-хранилищах большое количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО), на дне которых образовались иловые отложения (ИЛО), в которых основными компонентами являются железо ( $3 \div 17\%$ ), кремний ( $2,8 \div 8,5\%$ ), кальций ( $0,2 \div 3,2\%$ ), магний ( $1 \div 2,8\%$ ), натрий ( $0,7 \div 1,9\%$ ), фосфор ( $0,1 \div 0,9\%$ ) и др. [1]

Известны сорбционные, электрохимические, химические способы переработки ИЛО [2]. Для стабилизации грунтов и ИЛО, перевода их в устойчивые формы, препятствующие миграции радионуклидов, используются цементирование и различные способы высокотемпературной переработки с получением керамических и стеклоподобных матриц [3]. Их общим недостатком является многостадийность и высокая стоимость переработки ИЛО.

В работе представлены результаты исследований процесса плазменной утилизации и иммобилизации ИЛО в виде модельных водно-органических композиций (ВОК). По результатам исследований предлагается следующая схема переработки ИЛО:

- утилизация ИЛО в воздушной плазме ВЧФ-разряда в виде диспергированных горючих ВОК с получением после «мокрой» очистки отходящих газов водных суспензий твердые дисперсные продукты (ТДП), включающих магнитную окись железа;
- магнитное осаждение ТДП из водных суспензий;
- иммобилизация ТДП в расплавах хлоридов металлов, стойких к радиационному воздействию (NaCl, KCl), в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда;

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии плазменной утилизации и иммобилизации иловых отложений бассейнов-хранилищ ЖРО, а также других отходов создаваемого российского замкнутого ядерного топливного цикла.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орешкин Е.А., Каренгин А.Г., Шаманин И.В. Моделирование и оптимизация процесса плазменной утилизации иловых отложений бассейнов-хранилищ жидких радиоактивных отходов // IV Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири: Сборник тезисов докладов, Томск, 23-25 октября 2013. – Томск: ТПУ, 2013. – С. 18.
2. Дмитриев С.А., Стефановский С.В. Обращение с радиоактивными отходами. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000, с.12-20.

3. Соболев И.А., Хомчик Л.М. Обезвреживание радиоактивных отходов на централизованных пунктах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - С. 75-78.

## ОРГАНИЗАЦИЯ САНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА НА ЯДЕРНЫЙ ОБЪЕКТ

А.В. Паульс, Б.П. Степанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр.Ленина, 30, 634050

E-mail: [anna\\_02\\_25\\_94@mail.ru](mailto:anna_02_25_94@mail.ru)

В соответствии с действующим законодательством Российской Федерации производственная деятельность ядерных объектов (ЯО) на территории страны без обеспечения надежной системы физической защиты (СФЗ) ядерных материалов и установок, в том числе энергетических, запрещена. При построении охраны ядерного объекта возникают задачи по организации внутриобъектового режима и доступа работников на предприятие. Одним из возможных вариантов обеспечения решения выделенных задач является создание эффективных систем контроля и управления доступом (СКУД).

Целью данной работы является выделение особенностей организации систем контроля и управления доступом на ядерных объектах.

СКУД на ЯО предназначена для контроля и обеспечения санкционированного доступа персонала объекта, посетителей, командированных лиц и транспорта в помещения, здания, сооружения, зоны и территории в соответствии с установленной на объекте режимно-правовой средой. В состав современных СКУД входит множество технических средств и устройств, реализующих установленные на объекте процедуры и технологии идентификации. Их применение обеспечивают доступ на объект или на отдельные его части лиц, имеющих право доступа, и препятствует, если такого права нет [1].

Составными частями СКУД системы физической защиты являются:

- сеть контроллеров, обеспечивающих получение информации о текущей обстановки со всего пространства, находящегося под контролем службы безопасности;
- исполнительные устройства, имеющие возможность в определенных ситуациях действовать автоматически либо по команде оператора для блокирования несанкционированного прохода;
- средства отображения информации, с помощью которых операторы в пределах своих полномочий могут следить за работой всей системы и реагировать на возникающие внештатные ситуации;
- система сбора и обработки информации, наглядно представляющая сведения с электронных датчиков, считывателей, контроллеров и сохраняющая данные сведения для последующей работы с ними;
- средства идентификации личности.

В работе рассматривались вопросы функционирования СКУД на ЯО в составе системы физической защиты. Выделены требования к организации СКУД при реализации правила двух лиц, а также применение биометрических средств идентификации персонала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворона В. А. Система контроля и управления доступом. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 266 с.
2. Бондарев П. В. Физическая защита ядерных объектов. – М.: МИФИ, 2008. – 576 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ЯДЕРНОМ ОБЪЕКТЕ**

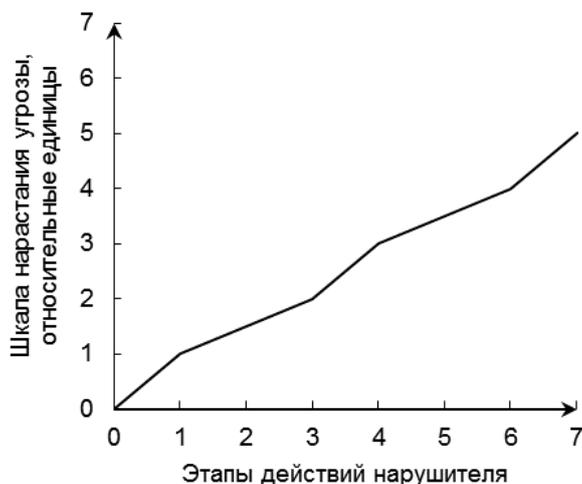
К.Е. Ревенко, А.Е. Ревенко, А.В. Годовых

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [r\\_xenon93@mail.ru](mailto:r_xenon93@mail.ru)

Для осуществления физической защиты на ядерном объекте реализуется система физической защиты, которая включает в себя «комплекс инженерно-технических средств, а также организационные мероприятия, направленные на их применение и совершенствование» с целью предотвращения диверсий или хищений в отношении ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения [1]. Одной из важных характеристик СФЗ является ее эффективность – способность системы противостоять несанкционированным действиям нарушителя [2]. В данной работе рассматривается использование графо-аналитического метода оценки эффективности СФЗ с использованием терминологии конфликтологии. Под конфликтом будем понимать противостояние в системе «нарушитель-СФЗ». Данный метод основан на построении графиков зависимости различных параметров, по которым можно оценивать эффективность СФЗ, например, зависимость степени угрозы от этапов (конflikта) действий нарушителя, описываемых временными границами [3, 4]. Пример такого графика представлен на рисунке 1. Каждый из участков на графике имеет свой угол наклона. Определив тангенс угла наклона можем определить значение скорости нарастания угрозы на каждом этапе следования нарушителя. Данное предположение будет является определяющим параметром рассматриваемого подхода.



*Рисунок 1. График зависимости угрозы от этапов действия нарушителя при учете действий СФЗ*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Постановление Правительства РФ от 19.07.2007 № 456 «Об утверждении правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов».
2. Физическая защита ядерных объектов: Учебное пособие для вузов/ П.В. Бондарев, А.В. Измайлов, А.И. Толстой; Под ред. Н.С. Погожина. – М.: МИФИ, 2008. – 584 с.: илл.Фамилия И.О. Название статьи // Журнал. – 2012. – Т.1. – № 11. – С. 71–77.
3. Анцулов А. Я., Баклановский С. В. Конфликтология в схемах и комментариях: Учебное пособие. 2-е изд., пере- раб. – СПб.: Питер. 2009. – 304 с.

## ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАЧ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ТИПА БРЕСТ

Н.А. Серикова, Д.Г. Демянюк

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [Snats14@mail.ru](mailto:Snats14@mail.ru)

Почему так важно уделять внимание вопросам ядерного нераспространения в наше время? Череда террористических актов и угроза мирным жителям, ввиду сегодняшней нестабильности на политической арене в том числе, являются одними из главных аспектов в ответе на этот вопрос, не говоря уже об исключительных, но все же вероятных авариях на производстве, приводящих к радиоактивному загрязнению окружающей среды. Именно поэтому так значимо перевести процессы использования атомной энергии в режим, как можно более недостижимый со стороны диверсий и хищений, а также улучшить технологический процесс с точки зрения безопасности ядерных материалов и других радиоактивных веществ от возможных угроз.

Рассмотрев разные варианты по осуществлению этих задач, одним из наиболее перспективных, на сегодняшний день, является выбор самой реакторной установки, являющейся по своей сути котлом атомной промышленности, а также когерентный ему ядерный топливный цикл, с использованием эффективных средств для обеспечения безопасности [1].

На примере реакторной установки БРЕСТ, потенциально считающейся одной из самых безопасных установок, созданных за последние 20 лет, наглядно просматриваются преимущества в использовании этого типа реакторов. Реактор работает в уран-плутониевом замкнутом цикле в режиме частичных ежегодных перегрузок топлива при очень малых изменениях реактивности активной зоны за энерговыработку в межперегрузочный интервал, поскольку поглощение нейтронов продуктами деления компенсируется снижением их захвата на  $^{238}\text{U}$  и небольшим приращением их генерации на плутонии.

Отличительной особенностью проекта является концепция «Естественной безопасности» – термина, введённого в широкий обиход в научно-технических кругах В.В.Орловым и Е.О.Адамовым, разработчиками и популяризаторами проекта БРЕСТ. Под этим понятием подразумевается ядерная и радиационная безопасность за счёт последовательного отказа от любых технических решений, потенциально опасных проектными и запроектными авариями, и организации безопасности за счёт использования природных законов и свойств используемых материалов, что позволит достичь убедительно прогнозируемой безопасности. Другими словами, в проекте БРЕСТ предполагается, что сам реактор и его топливо будут настолько безопасными, что не потребуют большого количества громоздких технических средств, систем и автоматики для обеспечения безопасности, что повлечёт упрощение устройства и удешевление АЭС [2].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лемехов В.В. БРЕСТ: быстрый реактор со свинцовым теплоносителем и пристанционным топливным циклом. / В.В. Лемехов, В.С. Смирнов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atomic-energy.ru/technology/36000>. – 29.04.2013.
2. Сила-Новицкий А.Г. Быстрые реакторы для крупномасштабной ядерной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atominfo.ru/news/air1917.htm>. – 29.04.2013.

## РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ МНОГОФАКТОРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А.И. Ситдикова, Д.Г. Демянюк

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [sitdikova@tpu.ru](mailto:sitdikova@tpu.ru)

Авиакрушения, аварии на заводах и даже катастрофа мирового масштаба на Фукусиме показывают, как мало внимания уделяется сложным техническим системам и их безопасному функционированию. Резкие климатические условия эксплуатации, недостаточное дублирование подсистем, ошибки монтажа, эксплуатация неквалифицированным персоналом, экстренные ситуации (пожар, землетрясение, наводнение и прочее), возможность террористических атак, а также множество прочих факторов ежеминутно ставят под угрозу возможность подобных систем полноценно и исправно функционировать. В данной работе предлагается применить методы вероятностного анализа безопасности, в частности, используя существующие методы отказа по общим причинам, разработаны специальные методы расчета отказов систем при одновременном воздействии на них различных факторов и адаптированы для анализа разных технических систем, отвечающих за безопасность.

Отказы по общей причине (ООП) представляют собой зависимые отказы группы из нескольких элементов, происходящие одновременно или в течение короткого промежутка времени (т.е. почти одновременно), вследствие действия одной общей причины (например, резкое изменение климатических условий эксплуатации, затопление помещения эксплуатации и пр.). Применение признанного на международном уровне инструмента для анализа подобных моделей – программное обеспечение Risk Spectrum PSA, - не предусматривает возможности учитывать сразу две и более причин, однако именно такие события имеют наибольшую долю в общей вероятности отказа оборудования и всей системы в целом.

Для решения поставленной задачи были предложены модифицированные альфа- и бета-фактор методы ООП. Бета – фактор метод является методом одного параметра и предполагает, что при ООП сразу все компоненты группы совершат отказ, а модифицированный Альфа – фактор метод позволяет просчитывать вероятность отказа группы оборудования, обладающих различными конструкционными особенностями, принципами функционирования, условиями эксплуатации и так далее. Однако оба метода предполагают ручное моделирование.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. INSAG – 6 Вероятностный анализ безопасности, доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности. – Международное Агентство по Атомной Энергии, Вена, 1994. – 25 с.
2. Морозов В.Б., Токмачев Г.В. Подход к моделированию отказов по общей причине в вероятностном анализе безопасности проектов новых АЭС с ВВЭР-1000. – Известия ВУЗов. Ядерная энергетика, 2008, №4. – 31-41 с.
3. Ершов Г.А., Ермакович Ю.Л., Парфентьев М.А., Морозов В.Б., Токмачев Г.В. Моделирование отказов по общей причине при проведении вероятностного анализа безопасности АЭС// Тяжелое машиностроение, 2008, №10. – 2-5 с.
4. Mosleh A., Parry G.W., Paula H.M., Worledge D. H., Rasmuson D. M. Procedures for treating common cause failures in safety and reliability studies. NUREG/CR-4780, Vol.1,2. US NRC, 1989; Washington, DC.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЖИМА ЯДЕРНОГО НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО НИТРИДНОГО ТОПЛИВА

А.А. Шевелева, Б. П. Степанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

e-mail: aas-tpu@yandex.ru

С ростом энергетических потребностей населения все острее становится вопрос об использовании энергоэффективных и безопасных технологий при производстве электроэнергии. Опыт прошлых столетий показал, что наиболее перспективным является развитие атомной энергетики. Однако данный способ получения энергии требует обеспечения не только технологической, но и ядерной безопасности.

За последнее время странами, использующими ядерную энергетику, накоплены значительные количества реакторного плутония в составе облученного топлива. Помимо этого, существуют значительные запасы оружейного плутония, полученные в результате разоружения. Поэтому вопросы нераспространения ядерных материалов являются актуальными в наши дни.

В работе проанализированы технологические аспекты получения и переработки уран-плутониевого нитридного топлива, рассмотрены технологические схемы регенерации топлива с точки зрения режима ядерного нераспространения.

В результате работы установлено, что применение уран-плутониевого нитридного топлива позволяет обеспечить высокий уровень ядерной и технологической безопасности. Использование данного вида топлива позволяет перерабатывать высвобожденный в результате разоружения оружейный плутоний, а также накопленное на атомных станциях отработавшее ядерное топливо [1]. Широкое применение данных технологических цепочек в ядерном топливном цикле ведет к сокращению общей величины запасов облученных ядерных материалов.

Наиболее перспективным является пирохимический метод регенерации топлива. Его применение позволяет осуществлять переработку топлива без разделения урана и плутония [2,3]. Реализация метода в пристанционном ядерном топливном цикле исключает процессы транспортировки ядерных материалов, а также повышает возможность реализации систем физической защиты, учета и контроля ядерных материалов на ядерном объекте.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, С.В. Зайцев В.А. Нитридное топливо для ядерной энергетики. — Москва: Техносфера, 2013. — 240 с.
2. Рогозкин Б.Д., Степеннова Н.М., Прошкин А.А. Мононитридное топливо для быстрых реакторов // Атомная энергия: теоретический и научно-технический журнал, Российская академия наук; Министерство РФ по атомной энергии, ядерного общества. — М., 2003. — Т.95, вып.3 — с. 208-2011.
3. Юдин Ю. Многосторонние подходы к ядерному топливному циклу // Анализ существующих предложений. Женева: Институт ООН по исследованию проблем разоружения (ЮНИДИР). — 2009.

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ РАДИАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ

И.Н. Шейно, М.И. Грачев, П.В. Ижевский

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Россия, г.Москва, ул. Живописная, 46, 123182

Е-mail: [igor.sheino@rambler.ru](mailto:igor.sheino@rambler.ru)

Потенциальная опасность радиационного объекта обусловлена возможным причинением вреда здоровью населения, проживающего на территории его размещения, а также вероятностью отчуждения земель с/х -назначения при радиоактивном выбросе в случае радиационной аварии.

В общем случае, количественная оценка потенциальной опасности, может быть выражена значением функционала:

$$H_G = \int_G d\vec{r} h(\vec{r}) p(\vec{r}), \quad (1)$$

определенного на функциях: пространственного распределения какого-либо опасного фактора (например, пространственного распределения радиоактивного выброса) —  $h(\vec{r})$ ; распределение плотности населения —  $p(\vec{r})$ , проживающих на рассматриваемой территории  $G$ .

При использовании консервативных оценок [1], максимальное значение функции распределения опасного фактора в зависимости от расстояния  $r$  от радиационного объекта представляется в виде:

$$h(r) = Q \cdot r^{-p}, \quad (2)$$

где  $Q$  – относительная мощность радиоактивного выброса;  $p$  – параметр модели ( $p > 1$ ), устанавливающий пространственное распределение опасного фактора.

Для наших оценок, распределение плотности населения представляется в виде точечных объектов или в виде многоугольников произвольной формы, оконтуривающих населенные пункты (рис.1а). Расчет значения потенциальной опасности дается численным интегрированием функционала (1) на расчетной сетке, приведенной также на рис.1б.

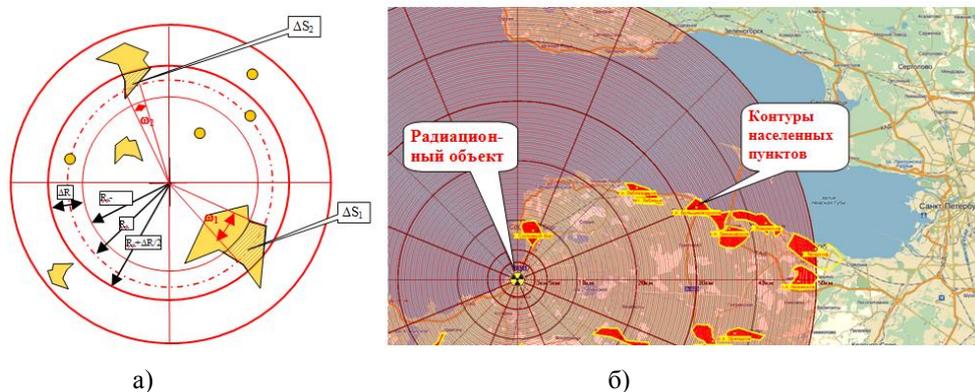


Рисунок 1 - Расчетная сетка (а) и схема интегрирования на карте расположения радиационного объекта (б).

Основное назначение разработанного метода - сравнительная оценка угрозы населению, которую представляют радиационно-опасные объекты, размещенные на различных территориях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р. Кини. Размещение энергетических объектов: выбор решений. – М.: Энергоатомиздат, 1983. -320 с.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНИЦИАТИВЫ МАГАТЭ ПО СИНЕРГИИ 3S

П.А.Пушенко, Д.А. Седнев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

e-mail: pushenkolina@mail.ru

Технология ядерной энергии сложна и требует высокого уровня научного развития, но в то же время она потенциально опасна для человечества, и требует самых передовых и хорошо продуманных действий. Вследствие многочисленных аварий система использования ядерной энергии требует новых и новаторских идей улучшения уровня ядерной безопасности, физической защиты и гарантий нераспространения ядерных материалов (далее гарантии).[1] Эти элементы создают стабильную систему для использования в мирных целях ядерной энергии.

Соединение этих трех, дополняющих друг друга систем и привело к возникновению термина синергия. Процесс реализации синергии достаточно прост: если действие одной из подсистем уменьшается, то компенсация реализуется действием другой системы. При необходимости же повышения эффективности определенной функции в системе может быть выполнен ряд подсистем, взаимодействующих друг с другом.[2,3]

В работе рассмотрены основные компоненты синергии (ядерная безопасность, физическая защита, гарантии), проведен анализ оборудования, используемого в каждой из 3S, осуществлен поиск идентичного оборудования и рассмотрены возможности объединения задач из каждой S, описаны возможности достижения синергитического эффекта за счёт унификации технических систем.

В результате работы установлено, что инициатива создания синергии позволяет увеличить эффективность протекания процессов безопасности.

Рассмотрены конкретные примеры синергии с реальной возможностью их применения в ЯТЦ России. Потенциал исследования и реализации синергии достаточно велик, что подтверждает рассмотрение теории и разработок по данному вопросу. Было доказано, что если осуществить реализацию на достойном уровне, то экономические, энергетические, а также другие преимущества усилят эффективность безопасности станции в большое количество раз.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nuclear Safeguards Infrastructure Development and Integration with Safety and Security, Donald N. Kovacic and Ana Raffo-Caiado<sup>1</sup>, John McClelland-Kerr, Matthew Van Sickle, Mo Bissani, Kenneth Apt Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 2012
2. Safety, safeguards and security in Indian Civil nuclear facilities; Nuclear Security Science and Policy Institute, Ankush Batra and Paul Nelson, India, April 5, 2012
3. Safeguards-by-Design: An Element of 3S Integration IAEA Symposium on Nuclear Safety R. S. Bean, T. A. Bjornard, D. J. Hebditch; USA, April 2009

## УПРАВЛЕНИЕ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ В УНИВЕРСИТЕТАХ. ПРИМЕР НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

М.В. Перминова, Д.Г. Демянюк

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

На сегодняшний день, одной из наиболее важных проблем атомной промышленности является сохранение ядерных знаний. Международное Агентство Атомной Энергии дает следующее определение ядерным знаниям: это знания имеющие отношение к деятельности в области ядерной энергетики и их специфика. Поэтому стороны заинтересованные в ядерных знаниях, такие как правительство, международные организации и промышленность начали развитие концепции управления ядерными знаниями.

Также одной из заинтересованных сторон являются высшие учебные заведения. Управление ядерными знаниями в университетах так же важно, как и на предприятиях. МАГАТЭ уже ведет активную деятельность в развитии управления ядерными знаниями для R&D project managers and other workers from nuclear R&D organization. (Это я брала из англ текста). Данный вид деятельности отражен в публикации МАГАТЭ “Knowledge Management for Nuclear Research and Development Organizations” . В нем подчеркиваются такие аспекты как передача и сохранение знаний, обмен информацией, создание и поддержка сотрудничества, а также подготовка специалистов следующего поколения. Академические институты имеют значительные возможности для применения практики управления знаниями для поддержки деятельности в подготовке высококвалифицированных специалистов.

Развитие управления ядерными знаниями в университетах дает возможность обеспечения быстрого доступа к учебным материалам и педагогическому опыту, также возможность в развитии ядерных навыков, устранения пробелов в процессе обучении.

Успешное применение данной концепции может привести к большому прогрессу в ядерной энергетике. Данная концепция практически была применена в проекте Кантич, Канада. Кантич это хранилище знаний, которое обеспечивает высокий уровень технической документации, относящейся к ядерно-энергетической системе CANDU. Эта статья описывает проект основанный на принципах, методах и структуре проекта Кантич. В ближайшее время планируется разработка программного обеспечения (IT technology) управления ядерными знаниями в Томском политехническом университете.

---

# Секция 7

---

Информационные  
технологии,  
автоматизация и системы  
управления

### ORGANIC LIGHT-EMMITING DIODES (OLED)

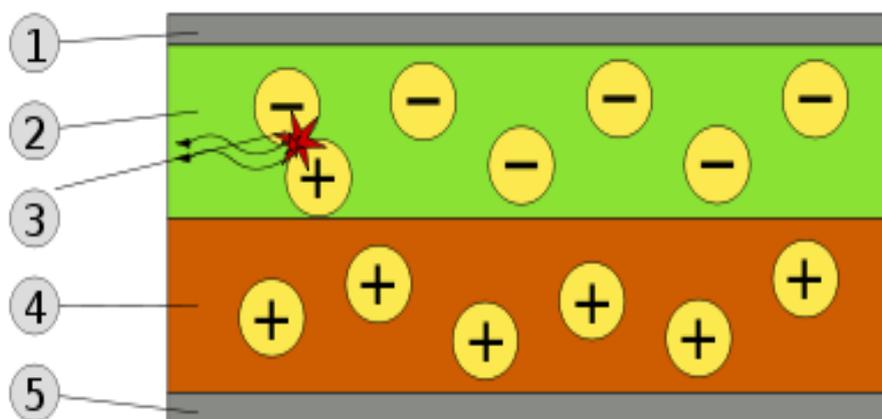
M.O. Blank, N.E. Bataeva, D.O. Tivikova, U.A. Smirnova

National Research Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenina str., 30, 634050

E-mail: [blank.mascha@yandex.ru](mailto:blank.mascha@yandex.ru)

Organic light-emitting diode is the main component of the Organic Light-Emitting Diode Technology, or abbreviated OLED. This technology is young but very promising in the field of construction of display devices. The main difference from other LEDs is that, made of organic compounds, they conduct an electric current capable of emitting visible light. This is related to their special features and capabilities. So the purpose of this work is to study existing methods of obtaining OLEDs and to compare OLED technology with other LED technologies.



Picture 1. Two-layer scheme OLED

OLED consists of the following elements:

- substrates (plastic, glass, foil);
- the cathode which injects electrons into the emitting layer when current flows;
- layers of organic materials, one of which holds a hole injecting anode, and the second - electron injecting cathode, radiative recombination of charge carriers happens in the second layer;
- transparent anode which injects holes when the current flows through it.

The physical principle of generating light emission OLED based on the phenomenon of electroluminescence in organic low molecular weight compounds and polymers.

This paper contains the study of the basic advantageous properties of OLEDs and a comparative analysis of OLEDs and other types of diodes. The main advantages of OLED are small size, weight, lower power consumption, the ability to create very thin flexible displays with high resolution.

### REFERENCES

1. Bochkarev M.N., Vitukhnovsky A.G., Katkova M.A. Organic light-emitting diodes (OLED). Moscow.-356 pages.
2. Gorbachev S.V., Vaganova E.V., Syryamkin V. I., Syryamkin M. V. Application of formation detection and prediction of the latest innovations and breakthrough technologies the example of Russian market of lighting [electronic resource]. - Mode of access: <http://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-metoda-vyyavleniya-i-prognozirovaniya-stanovleniya-peredovyh-innovatsiy-i-proryvnyh-tehnologiy-na-primererossiyskogorynka>

## VULNERABILITIES OF WIRELESS NETWORKS AND EXISTING THREATS

L.E. Bulygin, P.V. Gunov, M.E. Semenov  
National Research Tomsk Polytechnic University,  
Russia, Tomsk, Lenina Avenue, 30, 634050  
E-mail: [leb1@tpu.ru](mailto:leb1@tpu.ru)

Wireless technologies have received the massive development and have become part of business and everyday life. On basis of these technologies can create Internet access points and wireless local area networks (WLAN). Currently WLAN are wide used in most companies, enterprises scientific centers, and universities. Information is strategic assets of organizations, and network malfunctions, data interception can lead to negative consequences: loss of time, money, and reputation... Therefore, the security of WLAN is an actual problem.

Objective of research is to review of existing methods for ensuring security for wireless networks, their weaknesses and threats. To achieve the objective need to complete the following tasks: review of existing methods of wireless security networks, review of their vulnerabilities and identify existing threats.

WLAN operates according to the standard IEEE 802.11 (Institute of Electrical and Electronics Engineers), which is created for communication in a wireless local area. To protect against attackers in the standard IEEE 802.11 protocol provides a range of security measures: for example, authentication, encryption of traffic, MAC-address filtering and restricting access.

Wireless networks can be protected by the following technologies: open mode (not used any encryption or authentication), WEP (Wired Equivalent Privacy) and WPA/WPA2 (Wi-Fi Protected Access). An overview of WLAN security technologies is presented in Table 1.

*Table 1. Overview of WLAN security technologies*

Mode	Attack techniques	Elapsed time	Computing resources	Places of use networks
WEP	Exhaustive key search, social engineering, unauthorized access to equipment	From several minutes to several hours	A personal computer	Public places, residential space, business space
WPA/ WPA2	Exhaustive key search, encryption exploits, social engineering, unauthorized access to equipment	From several hours to several days	A personal computer, a supercomputer	Residential space, business space

Despite the use of different security methods there are serious threats of the use of wireless networks. The method of hacking the WPA key for 12-15 minutes was demonstrated [1]. This method was improved [2] and as a result, the execution time of proposed attack method becomes about one minute.

Practical recommendations how to protect wireless networks and reduce the risk of data interception will be presented in our oral report.

### REFERENCES

1. Tews E. Gone in 900 Seconds, Some Crypto Issues with WPA, PacSec 2008 Conference, Nov. 2008, Tokyo, Japan.
2. Ohigashi T., Morii M. A Practical Message Falsification Attack on WPA, Hiroshima, Japan, 2009.

### ACOUSTIC CONTROL SYSTEM IN MEDICINE

N.I. Karagodin, I.I. Shadrin, M.S. Stulin

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ivan\_parabel@mail.ru

**Annotation:** This article describes a device, which allows to control various elements using sound signals of different tones remotely. Its possible application are also described in various control systems.

**Key words:** sound, acoustics, distance, control, management, efficiency, simplicity, cheapness

#### Objectives

Acoustic switch is a simple and inexpensive device. One of the main advantages of the device is cheapness, it does not require any expensive microcontroller or other components. Also one argument in support of this device is the simplicity of management, for example: one clap of hand, and we open the door, two clap of hand blinds open. Especially it can be useful in a hospital where patients are forbidden to stand up, for example, if a patient needs to turn on the light at night

#### Discussion

The microphone amplifier is assembled on two KT315 transistors, but KT368 transistors or foreign analogues are desirable to use to increase the sensitivity of the microphone

The main circuit is a powerful bipolar transistor which controls the resistive load. The relay operates high resistive load (12, 24 or 220 voltage). The signal from the microphone is amplified and transmitted to the base of a key, junction opens and at this moment the relay is switched on, the microphone responds to loud noises (e.g. clap), and the sensitivity of such circuits is 4-5 metres. With the second clap, the circuit turns off automatically, therefore the current is zero on resistive load.

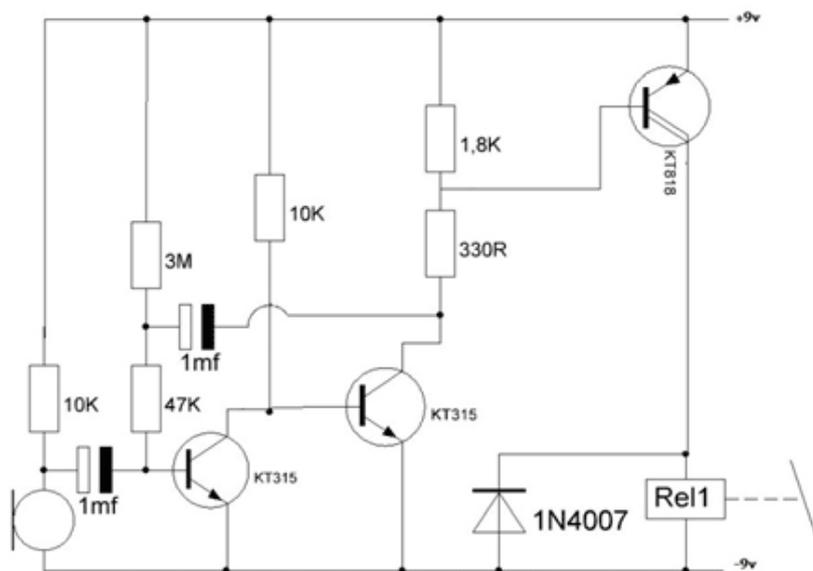


Figure 1. Demonstration electric circuit

#### Conclusion

Research results suggest the following:

The acoustic switch is easy to manufacture. Its price is about \$ 2. We can buy all elements of the device in a usual radio store.

## REFERENCES

1. The simplest acoustic switch [The electronic resource]- <http://vrtp.ru/index.php?showtopic=8574> – (date of watching:25.03.2015)
2. Acoustic switch as easy as pie [The electronic resource]- <http://www.sdelaysam-svoimirukami.ru/620-akusticheskiy-vykluchatel-prosche-prostogo.html> – (date of watching:05.04.2015)

## SIMPLE PHYSICAL MODELS IN PRACTICAL APPLICATIONS FOR NEW ENGINEERING

### TASKS

V. Mikhaylov<sup>1,2,3</sup>, V. Kushpil<sup>2</sup>, S. Kushpil<sup>2</sup>, S.N. Liventsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin Avenue 30, 634050 Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Nuclear Physics Institute, Academy of Sciences of Czech Republic, 250 68 Řež, Czech Republic

<sup>3</sup>Czech Technical University in Prague, 166 36 Prague, Czech Republic

E-mail: [mvserg@yandex.ru](mailto:mvserg@yandex.ru)

There is a traditional opinion that modern physics can evolve only by using more and more complex mathematical and physical models. In practice, this often appears as division of a single common problem to multiple small problems with complex description. In this case, complete picture of actual process can be lost in a huge amount of practically unimportant details. Sometimes the simplified description is better, when more understandable global description is more preferable compared with more precise, but also more complex for understanding physical models. We describe a few simple models that can be applied in the practical engineering to understand the basic behavior of modern semiconductor devices.

Various types of detectors with internal amplification of weak signals produced by ionizing radiation are used in modern physical experiments. There is a large class of gaseous detectors and presently widely used semiconductor avalanche photo detectors (APDs) [1]. Avalanche physical processes in semiconductors are more complex to describe and understand compared with simple Tungsten model for avalanche in gaseous detectors. However, it is not necessary to solve the fundamental system of partial differential equations to understand the processes in this type of detectors. Well known by radio engineers common conception of feedback can be applied for simple description of such a complex system [2]. Simple feedback model can be used for the classification of different types of modern APDs and for description of its internal processes. Simple “Logistic” model is applied to explain how the rising time of avalanche depends on the probability of avalanche occurrence in the APD. To understand how carriers generation-recombination processes are affected by traps created during irradiation and self annealing in semiconductors, one can apply a simple model based on assumption of a single traps level and a single lifetime of carriers on this level [3]. Interpretation of results obtained for a few types of commercial APDs is presented. Example of method of the detector noise introduction applied to the detector SPICE model is discussed. In addition, simple SPICE model describing gain coefficient and applicable for transient analysis of APD is proposed.

## REFERENCES

1. Kushpil V. Avalanche Process in Semiconductor Photo Detectors in the Context of the Feedback Theory / Chapter 10 in book "Photodetectors" edited by Sanka Gateva, – InTech Publisher, 2012. – 470 p.
2. Kushpil V.V. Application of simple negative feedback model for avalanche photodetectors investigation// Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2009. – N. 610. – P. 204–206.
3. Kushpil V., Mikhaylov V., Kushpil S., Tlustý P., Svoboda O., Kugler A. Radiation hardness investigation of avalanche photodiodes for the Projectile Spectator Detector readout at the Compressed Baryonic Matter experiment // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2014. – doi:10.1016/j.nima.2014.11.071.

## THE RESEARCH OF CONTACT IMAGE SENSOR FOR USE AS A HIGH-PRECISION MEASURING ELEMENT

V.V. Opolsky, Y.A. Chursin, A.V. Tsepilova

National Research Tomsk Polytechnic University,  
 Russian Federation, Tomsk city, Lenin street, 30, 634050

E-mail: [vvo6@tpu.ru](mailto:vvo6@tpu.ru)

Nowadays measurement requirements are increased to make higher quality production. In this case sensors with higher resolution are required. Modern market does not have a sufficient number of contact image sensors with high resolution and full datasheet. Because of this fact, it was decided to use CIS-module from scanner «HP ScanJet 300» with 4800 dpi resolution and 256 quantization levels [1]. There is no datasheet of this sensor with free access, and because of that, timing diagrams of CIS pinouts were measured by oscilloscope. There were 12 pinouts, including power supply, start pulses, clock pulses, LED controls and video output. The most interesting were two start pulses and two clock pulses. After monitoring, signals were reproduced using FPGA «Altera Cyclone III» [2]. After that laser diode and CIS module have been fixed on opposite sides of black box. Laser was operated in pulsed mode by FPGA and turned on at the time of exposure. In the center of black box an obstacle has been placed and video signal which was monitored by oscilloscope confirmed the validity of installation controlling. Block diagram is shown on figure 1.

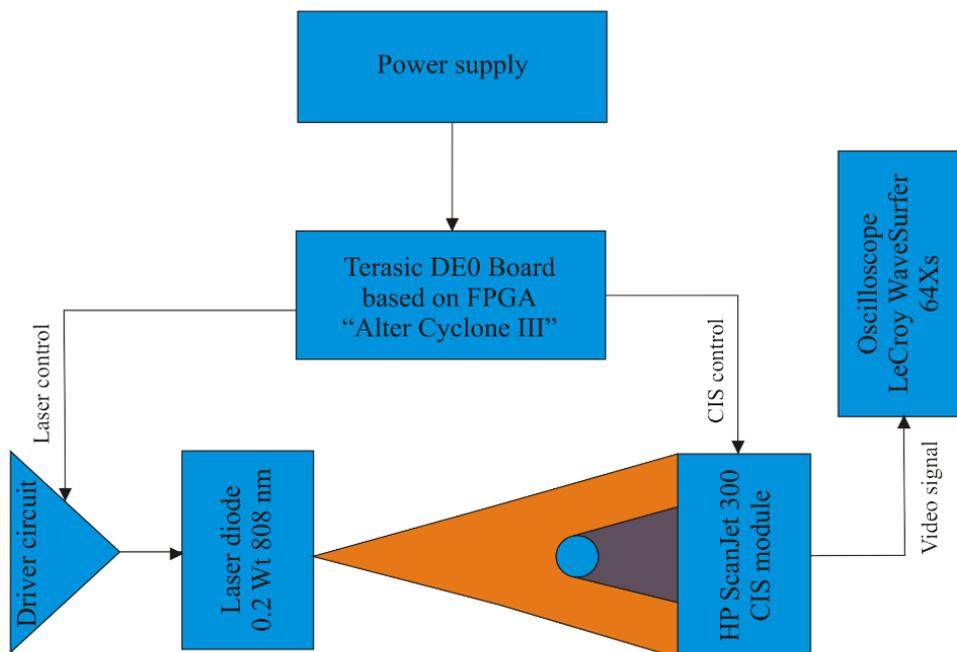


Figure 1. Block diagram of the test installation

### REFERENCES

1. HP Scanjet 300 Flatbed Scanners - User-Replaceable Parts and Supplies (EMEA). [http://h20564.www2.hp.com/hpsc/doc/public/display?docId=c03613923&DocLang=en&docLocale=en\\_US&jumpid=reg\\_r1002\\_usen\\_c-001\\_title\\_r0002](http://h20564.www2.hp.com/hpsc/doc/public/display?docId=c03613923&DocLang=en&docLocale=en_US&jumpid=reg_r1002_usen_c-001_title_r0002) 26.04.15
2. Cyclone III Device Handbook. [https://www.altera.com/en\\_US/pdfs/literature/hb/cyc3/cyclone3\\_handbook.pdf](https://www.altera.com/en_US/pdfs/literature/hb/cyc3/cyclone3_handbook.pdf) 26.04.15

## THE DEVELOPMENT OF A LIBRARY FOR TECHNOLOGICAL PROCESS TRENDING IN QT

E. P. Shutova, Yu. A. Chursin

National Research Tomsk Polytechnic University,

Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30

E-mail: [elizabethshoo@mail.ru](mailto:elizabethshoo@mail.ru)

The aim of the work is to develop a C++ class for trending technological processes using Qt framework.

Trend is an ordered set of values of a technological variable, each being written at certain time intervals. Creating trends and storing information about parameters is needed for further analysis and control design. Graphical representation of process variable changes over time promotes a better understanding of the dynamics of technological process.

Due to the existing huge array of technological data, which takes up gigabytes, it is important to provide means for handling it. Thus, a C++ class containing methods for saving data to file, compressing them, loading desirable set of data from file and displaying them was created. The file format chosen for storing data is a binary file as it takes up least memory (compared to text and xml-formats) and is compressed efficiently.

The class was created within the framework of Qt, a cross-platform application framework widely used for developing application software that can be run on various software and hardware platforms. Due to the variety of its modules, such as Qt Core, Qt GUI, Qt Widgets, Qt Multimedia etc., Qt provides the programmers with a convenient set of class libraries and a certain model of application development allowing them for writing less code. Within this framework the mechanism of signals and slots is realized.

Using the Qt classes for data streaming, serialization/deserialization (translating data structures into a byte array) is carried out, thus, data being saved to a binary file. Pre-selected data type (double, QDateTime) allows for seeking within the file and loading only a part of it without having to load the whole file. Embedded classes for compressing/uncompressing byte arrays are used in file shrinking methods.

In order to test the class a graphic user interface (GUI) application was created. It consists of four classes with three of them containing forms for choosing a file, displaying the file information and a table containing selected variable values from a certain time period. To this end, Qt visual objects were used, some of them being dynamically created and cast, and were connected through signal and slot mechanism.

### REFERENCES

- 1 Schildt H. C++ The Complete Reference, 4th Edition. – Osborne/McGraw-Hill, 2003. – 1024 p.

### ПРОЕКТ «ГОВОРЯЩИЙ ЗАМОК»

Э. Е. Акулов, А.А. Серенко, А.К. Фомичев, И.В. Кыштымков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [eduard.akulov.1995@mail.ru](mailto:eduard.akulov.1995@mail.ru)

В последнее время, связи с возросшей интеллектуальной и эмоциональной нагрузкой, когда требуется запоминать большие объемы информации в краткие сроки, у людей появилась проблема с краткосрочной памятью. И одним из последствий этой проблемы является, то, что люди, уходя из дома, не помнят, закрыли они дверь или нет.

Именно эту проблему и помогает разрешить наш проект. Суть проекта заключается в создании устройства, которое бы отсылало сигнал на телефон, либо брелок при закрытии дверного замка.

Для достижения поставленных целей был решен ряд задач. Был проведен опрос, чтобы выявить число людей, желающих иметь это устройство у себя дома. Был осуществлен анализ возможных способов реализации поставленной задачи, выбран наиболее подходящий по техническим характеристикам и ценовой категории канал связи (GSM-модем Teleofis RX301 R4). Была составлена схема устройства, со следующими компонентами: GSM-модем, микроконтроллер, uart/rs- преобразователь, геркон(ключ), магнит и медные провода для создания цепи. При закрытии двери электрическая цепь будет замыкаться, микроконтроллер будет посылать сигнал GSM-модему через uart-разъемы и uart/rs-232 преобразователь. GSM-модем, в свою очередь, будет посылать сигнал в виде СМС-оповещения на сотовый телефон. Ниже представлена принципиальная схема устройства (рис. 1).

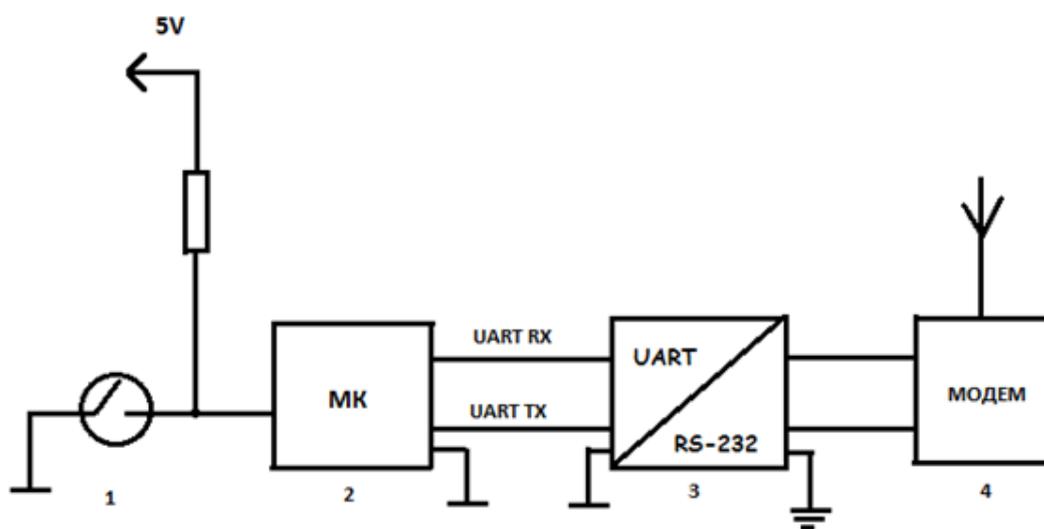


Рисунок 1. Схема устройства, фиксирующего закрытие замка

Предложенный вариант реализации поставленной задачи позволит получить устройство на 50% дешевле предлагаемых на рынке аналогов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Трошин. Последовательный порт - TTL и RS232 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://atroshein.ru/ru/content/posledovatelnyy-port-ttl-i-rs232>. – 20.05.15.
2. UART и с чем его едят [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/109395/>. – 20.05.15.

#### ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА АСУ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ТОКАМАКА Т-15

П.С. Анистратов, Ю.Н. Голобоков, В.М. Павлов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [pavel903@gmail.com](mailto:pavel903@gmail.com)

В проекте модернизации Токамака Т-15 внедряется новый аппаратно-программный комплекс цифрового управления системой импульсного электропитания установки, разрабатываемый в сотрудничестве НИ Томского политехнического университета и НИЦ Курчатовского института. Комплекс под управлением

одноплатной ЭВМ реализует функции по управлению и противоаварийной защите силовой схемой преобразователя электрической энергии, контроль параметров и регулирование параметров нагрузки с обратной связью по току или напряжению.

Программное обеспечение (ПО) комплекса должно выполнять в режиме реального времени следующие функции: обработку прерываний от модулей УСО и таймера, задающего цикл управления; прием команд от верхнего уровня АСУ, алгоритм регулирования и сохранение результатов измерений. Для реализации большинства функций, в том числе для регулирования токов и напряжений на выходе преобразователя, требуются четко выдерживаемые промежутки времени, что особенно важно для расчета составляющих ПИД-регулятора. ПО комплекса функционирует под управлением ОС Linux [1]. Для перевода системы в режим реального времени нами использовано дополнение Xenomai. На предыдущем этапе работы производилось тестирование системы с дополнением Xenomai и были получены высокие результаты производительности по регистрации прерываний [2].

Для испытания применимости Xenomai на подобных задачах было проведено исследование тестовой системы, выполняющей основные функций реальной системы. Разработанное ПО реализует поток реального времени для обработки прерываний, а обычные потоки осуществляют запись информации о событиях в БД и файловый журнал, а также предоставляют информацию о количестве произошедших прерываний по протоколу ModBus TCP.

По результатам тестов выбор такой архитектуры программного комплекса оказался оправданным. Для тестирования ПО в процессе исследований создан аппаратно-программный комплекс, в котором к параллельному порту ЭВМ под управлением Linux/Xenomai подключается генератор прямоугольного сигнала для формирования прерываний, обрабатываемых в потоках реального времени. Так как требуемый цикл регулирования для системы составляет 3,3 мс, в работе было исследовано функционирование тестовой системы с более жесткими требованиями к циклу (1 мс). В результате экспериментов заданный цикл выдерживался с доверительным интервалом 7,4 мкс. А среднее время передачи информации о прерывании в пользовательское окружение составило 26,87 мкс. При передаче информации из потока реального времени в обычные потоки порой возникали задержки, так как обычные потоки выполняются совместно с остальными задачами системы. Требуется учет этого фактора при определении размера буферов для обмена потоков.

Полученные результаты нас устроили, так как требуемый цикл реализуем за счет выделения критических задач в поток реального времени, а в обычных потоках возможно использование готовых фрагментов кода и библиотек, которые уже протестированы на реальной системе, без существенных изменений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В.М., Байструков К.И., Сьянов А.А., Пивоваров О.С., Тажибаева И.Л. Программное обеспечение системы управления источниками питания обмоток магнитного поля токамака. //Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика., №10, 2007, с.15-19.
2. Анистратов П.С., Голобоков Ю.Н. Анализ возможностей создания распределенной системы управления на базе ОС реального времени Linux/Xenomai. //Современные техника и технологии: сборник докладов научно-практической конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014, с. 139-140.

## УЧЕБНЫЙ СТЕНД – ТРЕНАЖЕР, МОДЕЛИРУЮЩИЙ СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОТРАНСПОРТОМ

Т.Х. Бадретдинов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [tahir@tpu.ru](mailto:tahir@tpu.ru)

Запаздывающие нейтроны представляют собой идеальный инструмент для исследования различных веществ, высокая эффективность которого обусловлена их уникальными свойствами, что дает возможность проводить избирательную регистрацию слабого нейтронного излучения проб исследуемого материала на фоне наведенной активности изотопов, излучающих  $\beta$  - частицы и  $\gamma$  - кванты. С целью реализации метода запаздывающих нейтронов на базе Томского исследовательского ядерного реактора политехнического университета была спроектирована и изготовлена аналитическая автоматизированная установка, позволяющая определять с высокой точностью и чувствительностью кларковые содержания  $^{235}\text{U}$  в отобранных пробах горных пород [1]

Автоматическое управление установкой является предпосылкой ее высокой производительности, а, следовательно, и рентабельности, что также является немаловажным при проведении массовых анализов. В лаборатории «Конструирование электроники и автоматики технологических процессов» кафедры ЭАФУ ФТИ создан учебный стенд – тренажер, имитирующий управление пневмотранспортом в ручном и автоматическом режимах. Тренажер используется в образовательном процессе, направленном на освоение обучающимися принципов разработки и наладки системы управления пневмотранспортным устройством, а также овладение общих принципов применения приборов и оборудования, входящих в состав стенда.

Основными функциями стенда – тренажера являются:

- Обучение студентов принципам построения АСУ поточными линиями на основе современных средств автоматизации с применением ПЛК;
- Обучение студентов программированию ПЛК в среде CoDeSys 2.3;
- Обучение студентов разработке графического интерфейса оператора в редакторе визуализации CoDeSys с реализацией ручного режима управления исполнительных механизмов поточной линии;
- Обучение студентов обработке различных аварийных событий;
- Обучение студентов использованию диспетчеризации, реализуемой на базе SCADA-системы TRACE MODE 6 с применением OPC-сервера;
- Обучение проведению электромонтажа в электротехнических шкафах с элементами электропитания, приборами и оборудованием для преобразования и подключения измерительного тракта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадретдинов Т.Х. Разработка методики исследования относительных геохимических ореолов урана осадочных пород на базе исследовательского ядерного реактора (на примере нефтегазоносных отложений Томской области) : Автореф. дис. канд. техн. наук. – Томск, 1988. – 20 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ

Н.Е. Батаева, А.В. Кретов, М.О. Бланк

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [n\\_bataeva@mail.ru](mailto:n_bataeva@mail.ru)

Автоматизация какого-либо процесса – одно из перспективнейших направлений в различных областях деятельности человека. Данная работа посвящена созданию модели движения жидкости в замкнутом цикле при регулировании уровня жидкости с помощью датчика уровня воды.

Модель состоит из следующих компонентов: плата Arduino Uno, датчика уровня, транзистора, резистора, центробежного насоса, собранного самостоятельно, соединительных проводов и трубок, двух резервуаров, USB-кабеля.



*Рисунок 1. Схема установки*

Написана программа на языке Arduino, которая запускает работу насоса, также передает данные, измеряемые датчиком уровня воды из принимающего резервуара. Как же все это работает? Изначально один из резервуаров заполнен водой, запускается программа, благодаря которой насос приводится в действие и из заполненного резервуара жидкость переливается в принимающий, в последнем резервуаре установлен датчик уровня воды, который считывает данные и передает их на плату, с которой происходит считывание этих данных на компьютер при помощи USB-кабеля.

Таким образом, данную установку можно использовать в учебных целях для того, чтобы студенты учились работать с платами, микроконтроллерами, узнавали новый язык программирования и имели наглядное представление, как изменение каких-либо параметров в программе влияет на работу того или иного прибора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко А.В. 10 практических устройств на AVR-микроконтроллерах. Книга 1, 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino-project.net/arduino-books>
2. Schmidt Maik. Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino-project.net/arduino-books>
3. Arduino Uno. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>
4. Программирование Arduino - аналоговый ввод/вывод. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robocraft.ru/blog/arduino/32.html>

## РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИНИ-ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Батаева Н.Е., Денисевич А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

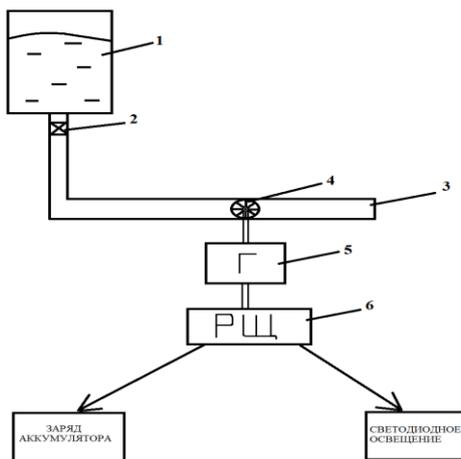
E-mail: [n\\_bataeva@mail.ru](mailto:n_bataeva@mail.ru)

В последнее время, из-за роста тарифов на электроэнергию, все более актуальными становятся возобновляемые источники практически бесплатной энергии. Целью проекта стало изобретение физической модели мини-гидроэлектростанции, собранной из подручных промышленных материалов.

Схема установки представлена на рисунке 1.

Принцип работы установки заключается в следующем. Из бака свободно вытекает вода по пластиковой трубе. Колесо с лопастями установлено в горизонтальном участке трубопровода для уменьшения перебоев работы установки. Колесо механически связано с валом генератора. Под действием воды колесо совершает вращение и передает энергию вращения на генератор, который, в свою очередь, преобразует механическую энергию в электрическую [1]. Затем эта энергия поступает в распределительный щит.

Для исследования возможности увеличения КПД предполагается сделать колесо с изменяемым углом наклона и поворота лопастей колеса.



1 – ёмкостной бак, заполненный водой; 2 – вентиль для перекрытия воды; 3 – желоб;

4 – колесо с лопастями; 5 – генератор; 6 – распределительный щит.

Рисунок 1. Структурная схема установки

На разрабатываемой физической модели мини-ГЭС предполагается проведение следующих исследований:

- определение оптимальных углов наклона и поворота лопастей колеса для достижения максимальной мощности вырабатываемой электроэнергии;
- исследование возможности применения вырабатываемой электроэнергии на заряд различного типа аккумуляторов;
- исследование возможности применения вырабатываемой электроэнергии для выработки световой энергии (освещение светодиодными лампами помещения).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольдек А.И. Электрические машины: учебное пособие. – Ленинград: Энергия, 1974. – 823 с.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПРОБЫ

М.О. Бланк, С.Н. Ливенцов, Ф.Э. Гофман

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [blank.mascha@yandex.ru](mailto:blank.mascha@yandex.ru)

В традиционных системах аналитического контроля радиохимических производств пробоотбор транспортировка пробы в аналитическую лабораторию при помощи пневмотранспорта. В качестве устройства пробоотбора [1] предложен гидроцилиндр с пробоотборником из капиллярных линий, который обеспечивает совмещение двух операций: собственно, пробоотбора и одновременного разведения пробы, тем самым обеспечивается уменьшение фонового гамма-излучения в сравнении с традиционной системой аналитического контроля.

Основным предметом исследования являлось определение величины потерь разведенного раствора в КИЛ при транспортировке пробы с различными скоростями.

Объектом экспериментального и теоретического исследования являлась система стабилизации скорости пробы (см. рис. 1).

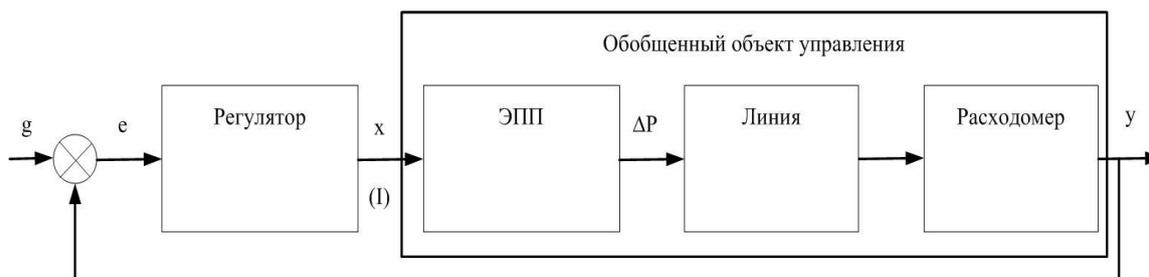


Рисунок 1. Система стабилизации скорости пробы.

Управляемой переменной системы является сигнал датчика расхода воздуха на входе транспортной КИЛ. Управляющим воздействием - сигнал, подаваемый на электропневматический преобразователь, задающий через пневматический делитель величину разрежения в приемной емкости ЭПП, собственно, линия с пробой и расходомер составляют обобщенный объект управления.

Проведено экспериментальное исследование характеристик устройства транспортировки разведенных проб. В результате установлено, что потеря раствора при транспортировке на 100 метров при скоростях  $5 \div 20$  м/мин не превысит  $0,5 \div 1,5$  % от общего объема пробы. Потери раствора тем меньше, чем меньше скорость транспортировки. В устройстве транспортировки проб обеспечено регулирование скорости перемещения пробы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка системы автоматического отбора проб радиоактивных растворов в условиях УТМ. Научно-технический отчет: Рег. № 03/09-14 /ООО «Сенсор» - Гатчина, 2014, - 40 с.
2. Гурецкий Х. "Анализ и синтез систем управления с запаздыванием". Перевод с польского А.Н. Дмитриева, М.: Машиностроение, 1974 – 328 с.
3. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Изд-во академии наук, 1952. 250 с.
4. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Изд-во «Химия», 1976. 117 с.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПУЛЬТА ОБЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТОКАМАКА КТМ

А.Е.Богданов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: Bogdanov\_Andry@mail.ru

В настоящий момент активно проводятся исследования в области энергетики, как плазменные технологии. Казахстанский Токамак Материаловедческий является одной из установок, позволяющих проводить эти исследования. В связи с наличием большого количества датчиков и высокого быстродействия системы есть необходимость проводить сбор информации и хранить её на серверах в масштабных базах данных. Это приводит к необходимости создания подобной базы данных на удаленном сервере, а так же реализации возможности отображения этой информации как табличных данных, так и более удобной и простой форме для восприятия человека-в виде графической панели коллективного пользования.

Разработку структуры базы данных для хранения экспериментальной информации и ее реализации было решено проводить на базе свободной проектно-реляционной системе управления базами данных PostgreSQL, для более удобного использования которой использовалась программа pgAdmin, являющаяся графическим клиентом данной базы данных. Программное обеспечение пульта общего управления реализовано на базе программного комплекса SCADA-системы Trace Mode. Налажена двусторонняя связь между удаленной базой данных и пультом общего управления посредством связи через ODBC драйвер. На пульте общего пользования отображается состояние подсистемы управления тороидальным магнитным полем(TF) токамака КТМ, а также код ошибок при возникновении таковых.

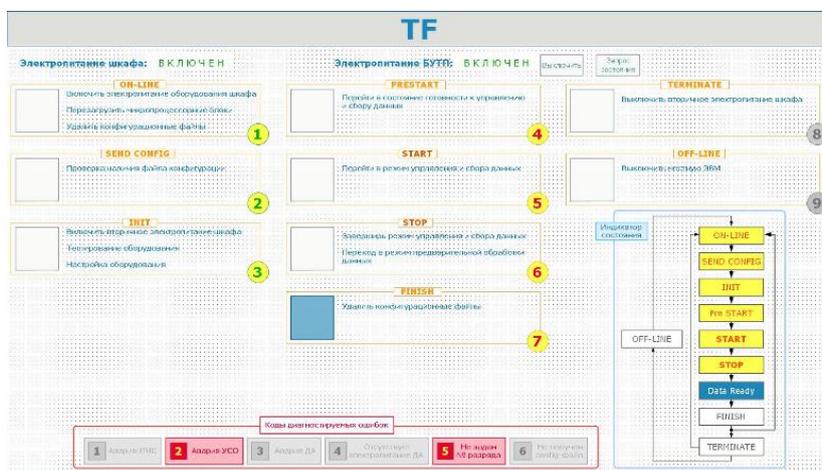


Рисунок. 1. Вид панели коллективного пользования

Дальнейшая работа с проектом связана с разработкой программ на языке программирования Си, реализующие связь между датчиками и подсистемами с базой данных (осуществление записи регистрируемых данных в удаленную базу данных).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уорсли Дж, Джейк Дж. PostgreSQL для профессионалов. – СПб.: Питер, 2003. – 496 с.
2. PostgreSQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.postgresql.org>

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ ВВОДА/ВЫВОДА ДИСКРЕТНЫХ И АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

А.А. Булавинов, А.В.Обходский, В.А. Кудрявцев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

andrewmoonlight@yandex.ru

В настоящее время большинство промышленных предприятий используют автоматизацию управления технологических процессов. Предпринимаемая мера позволяет добиться повышение эффективности, безопасности и экономичности процесса, не требуя участия в этом человека.

К сожалению, многие производители систем автоматического управления, без видимых на то причин, завышают стоимость на свою продукцию. Вследствие этого небольшие предприятия не могут позволить внедрить в свое производство АСУТП.

Главной целью данной работы является создание устройства автоматического управления, способного преобразовывать аналоговый сигнал с напряжением 0 - 5 В в дискретный сигнал с напряжением 0 - 24 В.

Для создания устройства предполагается использовать микроконтроллер Atmega 128 разработанный компании Atmel.

Перед тем как приступить непосредственно к созданию устройства необходимо проверить его работу на виртуальной модели. Для этого собрали виртуальную модель нашего устройства в среде Proteus 7. Среда Proteus 7 содержит достаточно обширную базу электронных компонентов, удобна в работе, позволяет выполнить необходимую программу на конкретном микроконтроллере и проследить за виртуальной работой устройства. Это позволяет избежать ошибок при создании реального устройства.

Для прошивки микроконтроллера использовали среду разработки CodeVisionAVR. CodeVisionAVR включает в себя массу опций, собственные библиотеки для различных чипов и работу с программаторами, способен компилировать программу непосредственно в код машинных команд микроконтроллера и учитывает его архитектуру для размещения и исполнения программы. Таким образом, собранная и скомпилированная в машинный код, программа, сразу будет пригодна для прошивки непосредственно в память МК. CodeVisionAVR совместим со средой Proteus 7. Все эти свойства делают его максимально подходящим для создания программы.

Таким образом, составленная программа преобразуется в машинный код, зашивается в микроконтроллер и корректность ее работы оценивается на работе виртуальной модели в среде Proteus 7. При обнаружении неполадок не составит труда исправить код или схему будущего устройства.

На данный момент составленная принципиальная схема модулей ввода/вывода, написаны коды программ для управляющих микроконтроллеров, написана программа настройки и управления модулями под платформу Windows, собрана макетная плата для тестирования и отладки разрабатываемых устройств. Следующими этапами станет анализ работы программы и схемы устройства на корректность и непосредственно сборка устройства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гатчин Ю.А., Ткалич В.Л., Виволанцев А.С., Дудников Е.А. Введение в микроэлектронику: Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 2010. – 152 с.
2. Atmega128 Datasheet – Atmel. 219 с.

## СИНТЕЗ ОДНОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЁМКОСТНЫМ ОБЪЕКТОМ С САМОВЫРАВНИВАНИЕМ

В.Г. Васильев, В.Ф. Дядик

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [vgv1@tpu.ru](mailto:vgv1@tpu.ru)

Проблема синтеза систем автоматического управления (САУ) с наилучшими показателями качества приводит к задаче исследования применимости различных методик настройки регуляторов при разных соотношениях времени запаздывания ( $\tau$ ) к суммарной постоянной времени объекта ( $\sum T$ ).

В данной работе проведены такие исследования для широко используемых в инженерной практике методик настройки ПИД регуляторов. Исходный трёхемкостной объект с запаздыванием описывался моделями статических объектов третьего порядка с одинаковыми постоянными времени с запаздыванием, второго порядка с разными постоянными времени с запаздыванием и первого порядка с запаздыванием. После аппроксимации исходной модели технологического объекта тремя перечисленными упрощенными моделями была проведено моделирование САУ в СКМ Matlab с настройкой ПИД регуляторов по семи различным методикам. Для настройки ПИД регуляторов были использованы следующие методы:

- 1) оптимального модуля для моделей первого, второго и третьего порядков[1];
- 2) аperiодической устойчивости, для модели первого порядка[1];
- 3) максимальной степени устойчивости, для модели первого порядка[2];
- 4) аппроксимационный метод максимальной степени устойчивости для модели первого порядка[3];
- 5) оптимальный по степени устойчивости метод для многоёмкостного объекта с доминирующей постоянной времени[4].

В процессе моделирования определялись прямые показатели качества переходных процессов по задающему и возмущающему воздействиям при различных отношениях времени запаздывания ( $\tau$ ) к суммарной постоянной времени объекта ( $\sum T$ ). Данное отношение менялось для переходных процессов по задающему воздействию в диапазоне от 0,01 до 27, а для переходных процессов по возмущению в диапазоне от 0,01 до 11. При исследовании определялись следующие показатели качества: квадратичный интегральный критерий, время регулирования, перерегулирование для переходных процессов по заданию и динамический коэффициент регулирования для переходных процессов по возмущению. Были построены сводные таблицы, графики зависимостей каждого из показателей качества от отношения  $\tau/\sum T$ . Проведен анализ полученных результатов, сделаны выводы о том какую методику настройки ПИД регулятора целесообразнее использовать при определенном отношении  $\tau/\sum T$ . Сформулированные рекомендации были применены при синтезе САУ пламенным реактором производства гексафторида урана.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974.
2. Загрий Г.И.; Шубландзе А.М. Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости. М.: Энергоиздат, 1988.
3. Борисов Г. Б. Об одном подходе к регулированию объектов с переменной нагрузкой // Приборы и системы управления, контроль, диагностика. – 2002. – № 2. – С. 13-18.
4. Шубландзе А. М. Адаптивные автоматически настраивающиеся ПИД регуляторы // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2003. – № 6. – С. 35-42.

## АНАЛИЗ УРАНА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОТОКЕ

Веригин А. А., Маджара Е.О., Наумик А.И

ТОО «ТехноАналит»,

Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, Крылова, 85, 070004

E-mail: tehnoanalit@mail.ru

В настоящее время на большинстве предприятий, добывающих и перерабатывающих минеральное сырье, широко внедрены автоматические системы управления технологическими процессами (АСУТП). Для эффективного управления технологическими процессами необходимо знать содержание основных и сопутствующих элементов.

Традиционно пробы отбираются с различных переделов и передаются в аналитическую лабораторию. Однако, даже при использовании экспрессных методов анализа, время от отбора пробы до выдачи результатов анализа не позволяет оперативно управлять технологическими процессами, и, тем более, обеспечивать его автоматизированный контроль. В связи с этим задача разработки аналитических приборов для элементного анализа технологических продуктов непосредственно на потоке, не уступающего по метрологическим характеристикам традиционным методам, является весьма актуальной.

Одной из подобных задач является определение массовых содержаний урана в технологических растворах при его добыче методом подземного выщелачивания и последующего производства концентрата природного урана.

Для решения подобной задачи был разработан анализатор урана на базе энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра СРВ-1Н, предназначенного для непрерывного определения полезных компонентов в технологических растворах (пульпах), автоматической обработки измеренной информации и возможности выдачи результатов обработки в виде выходного сигнала для управления исполняющими механизмами. Основной сложностью в данной задаче является необходимость прямого определения элементов в широком диапазоне содержаний (от  $2,0 \div 10$  мг/л до десятков г/л) в агрессивных растворах.

Для снижения порогов обнаружения элементов и повышения чувствительности спектрометра была предложена трех-осевая геометрия измерения [1]. Первичным источником возбуждения может служить рентгеновская трубка БХ-10 с анодом из Ag. Рабочее напряжение на рентгеновской трубке составляет 45 кВ при токе трубки – 0,3 mA. Вторичными излучателями служат Mo или Cd мишени. Материал мишени выбран для наиболее эффективного возбуждения урана. Для регистрации выбран полупроводниковый детектор SDD с термоэлектрическим охлаждением с энергетическим разрешением 145 эВ ( $E_{MnK\alpha} - 5.9$  кэВ). Толщина чувствительной области детектора 500 мкм оказалось достаточной для эффективной регистрации урана по L – серии. Анализ растворов ведется непрерывно с выдачей результатов каждые 180с. Время анализа зависит от содержания урана в анализируемой точке технологического потока.

Результатом работы стало создание анализатора урана в технологических растворах. На рисунках 1 представлен внешний вид потокового анализатора, работающего на одном из рудников Казахстана и непрерывный график процесса на экране дисплея оператора.

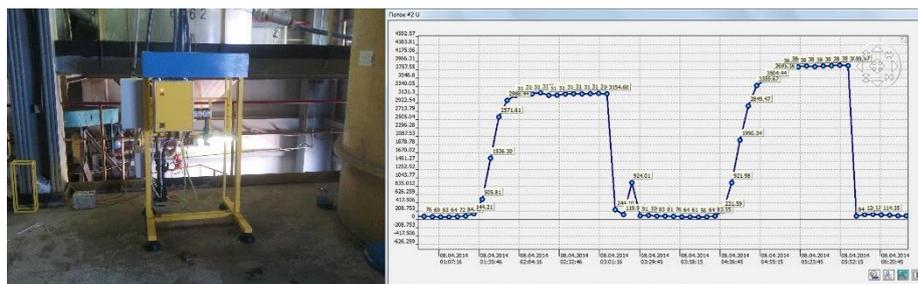


Рисунок 1. Внешний вид потокового аналитического прибора и график процесса десорбции

В докладе обсуждаются возможности прямого определения низких содержаний элементов рентгенофлуоресцентным энергодисперсионным методом непосредственно на технологических потоках и встраивание их в автоматические системы управления технологическими процессами (АСУТП).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веригин А.А. Энергодисперсионный рентгеноспектральный анализ. Применение в промышленности. - Томск: Издательство ТГУ, 2005. – 242 с.

### МЕТОДЫ АНАЛИЗА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОЦЕНКА ИХ ПРИМЕНИМОСТИ ДЛЯ АСУ ТП АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

А.А. Вериге, А.С. Каташев

Федеральная ядерная организация Федеральное государственное унитарное предприятие

«Горно-химический комбинат»,

Россия, Красноярский край, г. Железногорск, пр. Ленина, 53, 662972

E-mail: aav39@tpu.ru

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) являются обязательным атрибутом высокотехнологичных производств и объектов критической инфраструктуры. Основной угрозой безопасности АСУ ТП является угроза нарушения процесса управления производством, которая может вызвать не только экономические убытки, но и другие катастрофические последствия, связанные с угрозой для жизни людей и серьезным ущербом для окружающей среды. Проблема обеспечения информационной безопасности АСУ ТП на опасных производствах обострилась после проведения ряда успешных атак вируса Stuxnet на Иранскую станцию по обогащению урана [1].

Создание системы информационной безопасности АСУ ТП целесообразно начинать с анализа рисков. Это позволяет определить угрозы, существующие для каждой конкретной АС и их потенциальную опасность.

Оценка возможности реализации угроз безопасности (анализ рисков) информации реализуется тремя основными подходами. Первый подход – качественный. Используются методики оценки рисков по качественным показателям (например, низкий, средний, высокий, недопустимый). Второй подход – количественный. Здесь возможность реализации угрозы определяется через числовое значение (например, возможный экономический ущерб). Третий подход – комбинированный. Этот метод использует оба, описанных выше, подхода, например, метод CRAMM [2].

В результате работы, учитывая специфику предприятий атомной отрасли (большое количество типовых АСУ ТП, непрерывность процесса производства, высокая опасность нарушения процесса производства, уникальность оборудования), с одной стороны и большое отличие АСУ ТП атомной отрасли от классических автоматизированных систем с другой, принято решение экстраполировать существующие

методики анализа рисков для данных АСУ ТП. Это позволяет не только учесть конкретные риски типичные для АСУ ТП на предприятиях атомной отрасли, но и уменьшить время для их анализа. Полученная информация будет использована для создания типовой методики анализа рисков АСУ ТП атомной отрасли.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов В.Е. Фундамент безопасности АСУ ТП: от правовых основ до особых методик // Журнал «Connect. Мир информационных технологий» – 2013. – № 9. – С. 48–49.
2. Галатенко В.А. Управление рисками: обзор употребительных подходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iso27000.ru/chitalnyi-zai/upravlenie-riskami-informacionnoi-bezopasnosti/upravlenie-riskami-obzor-upotrebitelnyh-podhodov> – 16.02.15.

## РАЗРАБОТКА АКТИВEX КОМПОНЕНТА ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ПАНЕЛИ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ ТОКАМАКА КТМ

К.И. Виграненко, В.М. Павлов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Система автоматизации экспериментов на термоядерной материаловедческой установке КТМ имеет трехуровневую иерархическую структуру. Верхний уровень системы представлен многотерминальным пультом управления, который включает в свой состав пульт общего управления экспериментом, пульта оператора технолога и ведущего физика, обеспечивающие визуализацию параметров технологических систем и результатов физического эксперимента и панели коллективного пользования на которой отображается мнемосхема комплекса установки КТМ, выполняется предупредительная и аварийная сигнализация, а также представляются основные параметры эксперимента [1].

Программное обеспечение пульта управления строится с использованием SCADA-системы. Однако инструменты визуализации SCADA-систем не в полной мере соответствуют требованиям отображения данных физического эксперимента. Для решения данной проблемы авторами принято решение о расширении функциональных возможностей SCADA-системы на основе применения компонентных технологий ActiveX. ActiveX-технология в данном случае рассматривается как гибкое средство, позволяющее практически неограниченно развивать пользовательский интерфейс оператора системы управления.

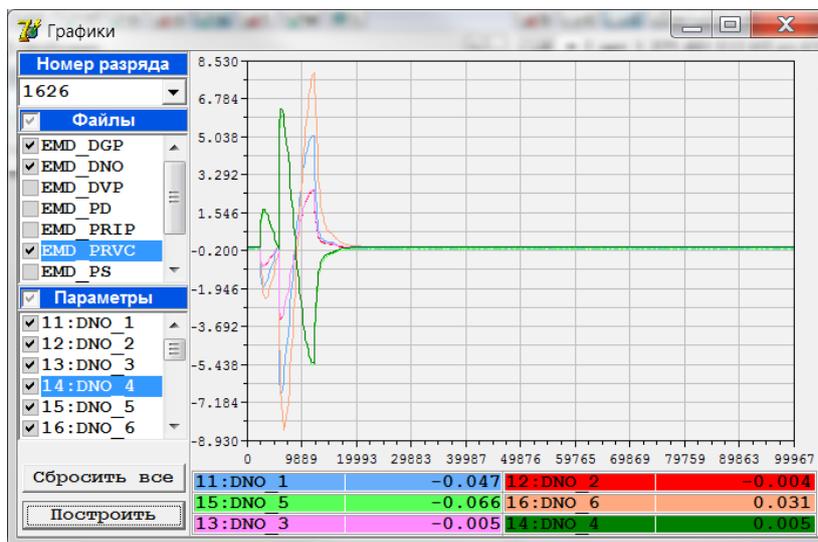


Рисунок 1. Интерфейс пользователя компонента

Разработанное программное обеспечение предназначено для визуализации технологической информации и экспериментальных данных на панели коллективного пользования токамака КТМ. Результаты экспериментов могут храниться либо в файлах специального формата, либо в базе данных. Интерфейс пользователя разработанной программы показан на рисунке 1. Работа компонента проверена при встраивании в интерфейс панели коллективного пользования, реализованный в SCADA-системе Trace Mode.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.М. Павлов, К.И. Байструков, Е.А. Драпико, А.В. Шарнин, В.А. Кудрявцев, Л.Н. Тихомиров, И.Л. Тажибаева Реализация программного обеспечения системы автоматизации экспериментов в SCADA TRACE MODE с использованием компонентных технологий. URL: <http://isup.ru/articles/2/234/>

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫПАРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

К.А. Козин, Е.В. Ефремов, М.И. Грачев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [efremov@tpu.ru](mailto:efremov@tpu.ru)

Сложность разработки системы автоматического управления (САУ) химическими аппаратами малого объема, обеспечивающими ядерную безопасность, связана с многосвязностью, существенной нелинейностью по отдельным каналам управления, а также отсутствием самовыравнивания. Поэтому для проектирования САУ однокорпусным выпарным аппаратом (ВА), предназначенным для упаривания азотнокислого раствора уранилнитрата, была создана его модель, подробно описанная в [1]. Указанная модель описывает в динамике изменение уровня и температуры раствора в ВА, а также концентрации упаренного раствора. Результаты вычислительных экспериментов с моделью позволили разработать несколько вариантов САУ ВА, поддерживающих заданное значение плотности упаренного раствора.

Для обеспечения устойчивой работы САУ с удовлетворительными показателями качества управления были рассчитаны значения параметров настройки регуляторов. Для этого были определены статические и динамические характеристики ВА как объекта управления (ОУ). Исследование переходных процессов на компьютерной модели ВА с использованием приложения пакета MATLAB – System Identification показали отсутствие запаздывания по каналам управления. С погрешностью менее 1 % ОУ описывается интегрирующими и инерционными звеньями 1-го порядка без запаздывания.

Отсутствие запаздывания по исследуемым каналам позволило предположить нецелесообразность использования пропорционально-интегро-дифференциального (ПИД) или более сложных законов регулирования, предназначенных для объектов со значительным запаздыванием [2]. Поэтому выбор был сделан в пользу ПИ-регуляторов. Параметры настройки ПИ-регуляторов рассчитывались методом динамической компенсации и методом оптимального модуля с использованием программного комплекса «SAR-sintez» и приложения Simulink – «Control Design PID Tuner».

Сравнение прямых показателей качества управления (перерегулирования и времени регулирования по управлению) ПИ-регуляторов для каждого исследуемого линеаризованного канала ОУ, настроенного указанными выше методами, показало, что регуляторы, настроенные при помощи «PID Tuner», обеспечивают лучшие показатели качества управления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козин К.А., Ефремов Е.В., Грачев М.И. Математическая модель выпарного аппарата для создания системы автоматического управления выпарным оборудованием в технологиях переработки отработанного ядерного топлива // Молодой ученый. – 2015. – №10.
2. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. Часть I // Современные технологии автоматизации. – 2007. – №4. – С. 86–97.

### СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДЕСУБЛИМАЦИИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

А. П. Маркелова, А.В.Вильнина, С.Н.Ливенцов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [elalmark@mail.ru](mailto:elalmark@mail.ru)

Гексафторид урана является одним из основных промежуточных продуктов в ядерно-топливном цикле (ЯТЦ) и представляет собой стабильное и легколетучее соединение урана, которое используется в газодиффузионных и центробежных процессах разделения изотопов. Одним из основных этапов получения гексафторида урана, является его выделение из газовой смеси полученной в результате процесса фторирования ураносодержащего сырья, посредством осаждения на охлаждаемой поверхности.

Для синтеза алгоритмов управления процессом десублимации обеспечивающих требуемое качество, устойчивость и повышение производительности существующих аппаратов была поставлена задача анализа процесса десублимации и разработки математического описания процесса десублимации гексафторида урана. В основу рассматриваемого процесса десублимации гексафторида урана положены такие физические явления как массо- и теплообмен, движущей силой которых является разность температур между технологическим газом и хладоагентом. Величина температуры охлаждающей поверхности является мерой изменения парциального давления газообразной фазы гексафторид урана в обедняемом технологическом газе и, как следствие, мерой степени десублимации. По мере образования пористого слоя десублимата и роста его толщины интенсивность теплообмена между парогазовой фазой и охлаждаемой поверхностью снижается. Поэтому температура на границе раздела фаз, постепенно растет, понижая тем самым степень десублимации и соответственно увеличивая проскок гексафторида урана на выходе аппарата [1]. Таким образом, целью управления аппаратом десублимации является поддержание заданного значения толщины слоя десублимата, за счет изменения времени охлаждения. Определение температуры поверхности позволит рассчитать время захолаживания, которое необходимо для осаждения продукта заданной толщины, что будет являться уставкой в алгоритме управления аппаратом десублимации.

Анализ технологического процесса десублимации, как объекта управления, выявил целесообразность использования в качестве управляемой переменной толщину слоя десублимата, а в качестве управляющей переменной – время охлаждения (продолжительность подачи хладоагента в трубчатку).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование зависимости степени заполнения транспортной емкости гексафторидом урана от режима работы десублиматора: отчет о НИР Том. политехн. ун-т (ТПУ); рук. Ливенцов С.Н.; исполн.: Дядик В.Ф., Байдали С.А.[и др.]; - № ГР ТИ/324; Инв. № 27/24. М.: , 2008, с. 1-44

## ФОРМАТ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Губарь, А.В. Обходский, В.А. Кудрявцев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [GubarAnnaAlex1993@gmail.com](mailto:GubarAnnaAlex1993@gmail.com)

В настоящее время создаются различные исследовательские установки и экспериментальные стенды, с помощью которых получают большие объемы экспериментальных данных. Все эти данные необходимо сохранять, обрабатывать и анализировать. Также большую сложность представляет разнообразие форматов данных, получаемых в результате проведения экспериментов. Для решения таких проблем создаются базы данных, в которых размещается вся получаемая информация. В свою очередь системы управления БД позволяют реализовывать необходимые операции с данными, а также осуществлять доступ к ним со стороны пользователей. В связи с этим решение задач разработки эффективных хранимых процедур, позволяющих работать с входными и выходными данными в СУБД является актуальным.

При создании системы хранения данных в составе программного комплекса моделирования материалов применялась СУБД PostgreSQL. Преимуществом СУБД PostgreSQL является возможность построения пользовательских функций с помощью разных процедурных языков.

После проведения очередного эксперимента данные помещаются в БД, где выполняется их сортировка и выборка по набору задаваемых критериев. После поиска данные передаются удаленным пользователям. Для передачи данных между компонентами программного комплекса необходим универсальный формат транспортного файла. Структура файла должна соответствовать структуре БД. Таким образом, был предложен формат XML.

Данные из БД перемещаются в xml-файл. Язык XML является оптимальным для структуризации слабоструктурированных данных представляемых в виде таблиц.

Поскольку формат XML не предполагает визуализацию данных для верификации структуры транспортного файла применялся преобразователь xml-файлов в файлы формата html.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение о предоставлении субсидии RFMEFI57814X0095 от 28.11.2014 г.

## РАЗРАБОТКА САЙТА КАФЕДРЫ ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Е.Е. Гусева, В.А. Кудрявцев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [Katerina\\_Guseva\\_92@mail.ru](mailto:Katerina_Guseva_92@mail.ru)

На сегодняшний день разработка сайтов набирает большую популярность. Это объясняется тем, что подавляющее большинство людей предпочитает искать информацию вне зависимости от интересуемой области на просторах Интернета. Данное явление не обошло стороной и современные ВУЗы.

Целью работы является разработка сайта кафедры электроники и автоматики физических установок. Промежуточные задачи данной работы содержат в себе обзор редакторов и средств разработки WEB-страниц, обзор и изучение платформ, а также сбор информации о кафедре ЭАФУ. На основе рассмотренных задач в

дальнейшем планируется произвести выбор программных и инструментальных средств для создания сайта, разработать его структуру и дизайн и, как итог, наполнить контентом.

На сайте планируется представление информации о кафедре, о ее лабораториях, о трудоустройстве выпускников, о курсах дополнительного образования, а также об аспирантуре на кафедре. Данную задачу целесообразно осуществить, используя эргономические принципы представления информации. Кроме этого будет предоставлена возможность автоматизации научных исследований при помощи различных систем автоматизации научных исследований (САНИ).

Используя модульную объектно-ориентированную динамическую обучающую среду Moodle, на сайте возможно будет организовать дистанционное повышение квалификации для сотрудников кафедры.

На сайте планируется устраивать онлайн встречи и конференции в режиме реального времени (вебинары). На сегодняшний день существует множество сервисов для предоставления данной возможности.

Неотъемлемой составляющей любого сайта является обратная связь, которую предполагается реализовать в формах студент – кафедра ЭАФУ, выпускник – кафедра ЭАФУ, заказчик – кафедра ЭАФУ.

Для сайта кафедры также важно наличие каталога публикаций сотрудников и библиотеки методических пособий для студентов. Создание каталогов и библиотек возможно выполнить при помощи различного специализированного программного обеспечения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якоб Нильсен, Хоа Лоранжер. Web – дизайн. Удобство использования Web – сайтов. – М.: Вильямс, 2009. – 376 с.
2. Андреев А. В., Андреева С. В., Доценко И.Б. Практика электронного обучения с использованием Moodle. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2008. – 146с.
3. Мунипов В.М., Зинченко В.П. Эргономика. Человекоориентированное проектирование техники, программного обеспечения и среды. – М.: Логос, 2001. – 356 с

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ С ЗАДАНЫМИ СТАТИСТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

А.Р. Дон, В.М. Павлов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [anton.don93@mail.ru](mailto:anton.don93@mail.ru)

При проектировании современных технических систем важную роль играет их стабильность, точность и безопасность. Для поддержания системы на заданном уровне необходимо отслеживать любые отклонения в её работе и реагировать на них тем или иным способом, в зависимости от степени риска. Внешние воздействия на технические объекты носят вероятностный характер и описываются случайными функциями [1]. В качестве параметра, по которому можно судить об изменении состоянии некоей характеристики реальной системы, было решено взять изменение статистических характеристик измеряемого технологического процесса. Обнаруживаемое таким образом событие может быть связано, в том числе, и с развитием нежелательных процессов, приводящих к авариям. Поэтому, чтобы проанализировать состояние объекта и сделать вывод об его функционировании, необходимо составить математическую модель, учитывающую вероятностный характер протекающего процесса [2]. Решению задачи вычисления и анализа вероятностных характеристик случайных процессов, имеющих место в технических объектах, и посвящена данная работа.

На начальном этапе разработки программы сформирован программный код модели, обеспечивающий генерацию случайного процесса с параметрами, задаваемыми пользователем. Алгоритм описан в [2]. Эта часть программы позволила получить теоретические данные, на основании которых был предложен эффективный алгоритм расчета статистических характеристик реальных технологических процессов (математическое ожидание, дисперсия, параметры автокорреляционной функции).

Исследования, проведенные с использованием модели, позволили определить оптимальный объем выборки элементов, при котором погрешность определения статистических характеристик не превышает 2%. Это позволило минимизировать объем данных, необходимых для процесса восстановления параметров случайных процессов.

Подводя итог, можно сказать, что разрабатываемая программа позволяет успешно моделировать аварийные и предаварийные ситуации. В дальнейшем планируется усовершенствовать программу таким образом, чтобы обрабатывать данные с выхода реальных объектов в режиме реального времени.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – Изд. 4-е, перераб. И доп. – СПб, Изд-во «Профессия», 2004. – 752 с.
2. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: Учебник для ВУЗов. — Мн.: ДизайнПРО, 2004. — 640 с;

#### МОДУЛЬ АНАЛОГОВОГО ВЫВОДА

И. А. Журавлев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [kile@docsis.ru](mailto:kile@docsis.ru)

Современный мир все быстрее и быстрее переходит на цифровые технологии, оставляя аналоговые. Например, в данный момент происходит переход телевидения с аналогового вещания на цифровое. Конечно, это не так важно, как, например, передача аналогового сигнала на какое-нибудь устройство, которое не воспринимает цифровой.

Устройство, которое нужно сделать, очень актуально в наше время. Данный прибор будет незаменимой частью на производстве, так как там имеется много оборудования, которое работает именно на аналоговом сигнале. Для этих целей и будет сделано это устройство.

Данное устройство, над которым ведется работа, называется модулем аналогового вывода. Он основан на микроконтроллере Atmega128, необходимом цифроаналоговом преобразователе и соответствующих схемах-преобразователях. На компьютер приходят данные с какой-нибудь системы управления и, в дальнейшем, в соответствии принятым данным, посылает сигнал на устройство аналогового вывода для управления каким-либо устройством, допустим двигателем. Для данного устройства была создана электрическая схема реализующая данные функции в программном пакете Proteus. Принцип работы данной схемы прост. На микроконтроллер Atmega 128 подается цифровой сигнал. Далее с помощью выходов данного микроконтроллера получается выходной сигнал, нужной нам величины. Потом этот сигнал идет обрабатываться на цифроаналоговый преобразователь dac0832. В данном ЦАП цифровой сигнал конвертируется в аналоговый биполярный сигнал с выходным напряжением 5 В. В дальнейшем данный сигнал преобразуется в необходимый на выходе.

Как видно из выше описанного, устройство аналогового вывода представляет собой звено преобразования цифровых сигналов управления в необходимые аналоговые сигналы на выходе для оперирования различными исполнительными механизмами и объектами управления.

Данное устройство еще нуждается в доработке, так как необходимо реализовать программное обеспечение программного обеспечения для дистанционной работы данного устройства через интерфейс RS-485.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ. / А. Оппенгейм, Р. Шафер; под ред. А. С. Ненашева. — М.: Техносфера, 2006. — 856 с.
2. Марков, Николай Григорьевич. Методы и средства цифровой обработки сигналов: учебное пособие / Н. Г. Марков; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 1997. — 119 с.
3. Гадзиковский В. И. Теоретические основы цифровой обработки сигналов / В. И. Гадзиковский. — М.: Радио и связь, 2004. — 343 с.
4. Язык Си. Руководство для начинающих. М Уэйт, С. Прата, Д. Мартин, Пер. Горинович Л.Н., Москва, 1988г.

#### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Захаров, А.В. Обходский

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Программные комплексы, применяемые для моделирования структуры материалов, оперируют большим количеством разнородной информации. Эта информация включает данные с результатами экспериментов и вспомогательные метаданные. Проблема повышения эффективности средств доступа и хранения разнородной информации являются актуальными и в настоящее время. Нашим коллективом реализуется проект по созданию программного комплекса для моделирования структуры материалов на основе редкоземельных металлов и исследования их характеристик в условиях высоких нагрузок. Для реализации системы хранения данных в составе программного комплекса все пользователи объединены в единую информационную систему, в которой реализована свободная циркуляция данных между всеми пользователями и информационными узлами.

Физическая организация системы включает две составляющие – центральный узел системы хранения данных с подсистемой резервного копирования и локальную рабочую группу. Для реализации центрального узла системы хранения данных (СХД) предполагается использовать сервер оперативного доступа и сервер резервного хранилища. На каждом сервере размещена база данных работающая под управлением СУБД PostgreSQL, а также выделенный программный FTP сервер, для взаимодействия программных компонентов между собой. Рабочая группа состоит из множества клиентских ЭВМ [1, 2].

Функционирование центрального узла СХД реализовано с помощью СУБД. Недостающие функции взаимодействия с FTP реализованы с помощью хранимых процедур в СУБД. Передача данных между СХД и локальной рабочей группой осуществляется по средствам сети Ethernet, путем обмена транспортными файлами в формате XML. На каждой ЭВМ, входящей в состав рабочей группы, должно быть установлено программное обеспечение для работы с сервером оперативного доступа и хранения данных. Кроме взаимодействия с системой хранения данных, программное обеспечение предоставляет возможность автономной работы, используя только ресурсы доступной ЭВМ [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение о предоставлении субсидии RFMEFI57814X0095 от 28.11.2014 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаптев В.Н. К вопросу повышения надежности систем сбора и хранения хронологических данных. Научный журнал КубГАУ, 2014, вып. 101(07). <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/162.pdf>
2. Bright J.D. Chandy J.A. A scalable architecture for clustered network attached storage. Proceedings 20th IEEE/11th NASA Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies, 2003, April 7-10. pp. 196 – 206. doi: 10.1109/MASS.2003.1194857
3. Обходский А.В., Мамаев К.А., Захаров А.М. Система хранения и распределённой обработки экспериментальных данных на основе самоорганизующейся GRID-сети. В кн.: Физико-технические проблемы атомной науки, энергетики и промышленности: тез. докл. VI междунар. конф. Томск, 5 – 7 июня 2014. С. 40.

### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БЛОКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЭКСТРАКТОРОВ, ЭКСТРАКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ РУ БРЕСТ-ОД-300

Е.П. Зеленецкая<sup>1</sup>, А.Г. Горюнов<sup>1</sup>, О.В. Шмидт<sup>2</sup>, Е.Г. Пузиков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика

А.А. Бочвара, Россия, г. Москва, ул. Рогова, д. 5а, 123098

<sup>3</sup>Радиевый институт имени В.Г. Хлопина,

Россия, г. Санкт-Петербург, 2-й Муринский пр., д. 28, 194021

E-mail: [zeka@tpu.ru](mailto:zeka@tpu.ru)

Аппаратное оформление технологий по переработке отработанного ядерного топлива (ОЯТ) с реакторной установки БРЕСТ (РУ БРЕСТ) предлагается выполнить на базе центробежных противоточных экстракторов соединённых каскадно. Количество аппаратов, входящих в каскад, определяется технологическим регламентом на процесс экстракции/реэкстракции. Все аппараты, входящие в технологические цепочки экстракции/реэкстракции, идентичны как конструктивно, так и по алгоритму работы, поэтому целесообразно рассмотреть в качестве объекта один экстракционный каскад.

В силу того, что технологии по переработке ОЯТ относятся к классу радиоактивно опасных, поэтому проводить экспериментальные исследования процессов, протекающих при экстракции/реэкстракции невозможно. Исходя из этого отработку технологий разделения веществ, следует проводить при использовании математических и компьютерных моделей.

За основу при разработке модели блока центробежных экстракторов (ЭБ) была взята математическая модель, приведённая в работе [1] учитывающая как процессы молекулярной, так и конвективной диффузии протекающих в центробежных экстракторах. Помимо этого, в модели учитываются изменения значений равновесных концентраций, методика расчета которых освещена в работе [2].

В процессе разработки модели ЭБ было осуществлено моделирование пускового и установившегося режима работы каскада. В настоящее время проводятся экспериментальные исследования в области оценки адекватности разрабатываемой модели. Проводятся серии сравнительных экспериментальных исследований на основе данных представленных в работе [2].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горюнов А.Г. Динамическая модель неравновесного многокомпонентного экстракционного процесса в смесительной камере центробежного экстрактора // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 4. – С. 129–132.
2. Федотов Ю.С., Зильберман Б.Я., Пузиков Е.А., Мишин Е.Н. Исследование запредельного режима экстракции в Пурекс-процессе. 1. Расчет распределения Pu и U в головном экстракторе // Радиохимия. – 2001. – Т.43. – № 6. – С. 494–500.

## НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БУФЕРНОЙ ЕМКОСТЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

К.А. Иванов, А.Г. Горюнов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kaiva@sibmail.com

В химической промышленности буферные емкости используются для согласования производительностей аппаратов и демпфирования расходов технологических продуктов. Для снижения низкочастотных и высокочастотных колебаний расхода жидкости на выходе буферной емкости предложена система частотного управления погружным центробежным насосом с адаптивным управлением уровнем жидкости в буферной емкости. Из-за жёстких требований к режиму работы насоса применено импульсное управление дроссельной заслонкой [1]. Наличие двух каналов управления по частоте вращения вала электродвигателя насоса и положению дроссельной заслонки, а также использование адаптации параметров настройки ПИД-регулятора уровня и адаптации длительностей импульсов управления исполнительным механизмом дроссельной заслонки, обеспечивает необходимое демпфирование расхода жидкости при требуемых ограничениях на уровень жидкости в буферной емкости. Разработана математическая модель демпферной емкости как объекта управления. В этой модели нелинейная зависимость расхода жидкости от частоты вращения вала электродвигателя насоса и положения дроссельной заслонки представлена имитационной моделью на основе нечеткой нейронной сети. Нечеткая нейронная сеть реализована и обучена средствами Matlab пакетом расширения Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Ошибка аппроксимации экспериментальных зависимостей, полученных на реальном оборудовании, не превышает 1%. Применение пакета ANFIS позволило решить задачу аппроксимации экспериментальных зависимостей, представленных разреженными матрицами. Предложенная модель использована для исследования адаптивной системы управления буферной емкостью. Сравнение работы реальной системы [2] с моделью системы подтвердило адекватность предложенной модели.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горюнов А.Г., Иванов К.А., Шенцов Э.Ю., Биянов А.В. Система стабилизации потока органической фазы каскада экстракционных колонн с применением частотного управления погружными центробежными насосами // Известия высших учебных заведений. Физика, 2010. – №11/2. – С. 206–210.
2. Ivanov K.A., Goryunov A.G. Capacity pump control by dual-channel adaptive system with throttle and frequency Control // Advanced Materials Research Vol. 1084, 2015, P. 630-635

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ

С.А. Ильиных, В.М. Павлов, С.В. Меркулов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [ilinykh\\_stas@mail.ru](mailto:ilinykh_stas@mail.ru)

В целях качественного и эффективного электроснабжения потребителей промышленных и коммунальных предприятий создаются и эксплуатируются сложные комплексы систем вторичного электропитания, основанные на современных полупроводниковых приборах, которые преобразуют переменный ток в постоянный и наоборот, а также изменяют его частоту в соответствии со спецификой промышленных

объектов и технологических установок. В качестве примера можно привести электрохимические и металлургические предприятия, электротранспорт, электрофизические установки атомной энергетики, промышленные и исследовательские ускорители, плазмотроны и генераторы различного назначения.

При работе таких комплексов важным является с одной стороны определение параметров питающей сети с целью диагностики оборудования и компенсации реактивной мощности [1], а с другой, оперативное определение ряда измерительных и расчетных параметров, используемых для формирования управляющих и коммутационных воздействий в системе электропитания. Причем в распределенных, многоканальных системах питания, в которых важна синхронность работы преобразователей, измерительные и расчетные параметры силовой цепи должны поступать ко всем элементам системы питания одновременно с заданной точностью.

Разрабатываемое для решения данной задачи многофункциональное микропроцессорное устройство анализа параметров электрической силовой цепи формирует в реальном масштабе времени ряд измерительных и расчетных данных, необходимых для управления автономными, однофазными и трехфазными системами электропитания и многоканальными энергопреобразовательными комплексами большой мощности. Реализуемые устройством функции: программная по цифровому интерфейсу настройка устройства в зависимости от состава измерительных цепей, датчиков и структуры системы электропитания; программная настройка алгоритмов противоаварийной защиты по параметрам питающей сети; контроль параметров сети и формирование сигналов быстродействующей релейной защиты электротехнологического оборудования; формирование сигналов синхронизации по событиям: перехода через ноль, минимума/ максимума переменного тока, превышения предельных значений и т.д.; привязка сигналов управления силовой схемой преобразователя электрической энергии (тиристорного выпрямителя, инвертора напряжения, компенсатора реактивной мощности и др.) к питающей сети; взаимодействие с вышестоящей системой АСУ ТП предприятия по цифровому интерфейсу.

Существующие аналоги устройства для анализа параметров электрической силовой цепи не предназначены для использования в схемах оперативного управления многоканальными системами электропитания.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. –М: ЭНАС, 2009. –456с

#### **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ГРАДУИРОВКИ РАСХОДОМЕРОВ И ИССЛЕДОВАНИЯ САУ РАСХОДОМ ВОЗДУХА**

Н.Б.Гурова, Е.С. Китаева., А.А. Денисевич

Томский политехнический университет, 63405, Россия, г. Томск,

пр. Ленина, 30, e-mail:nbg7@mail.ru

Градуировка - процесс нанесения отметок на шкалы средств измерений, а также определение значений измеряемой величины, соответствующих уже нанесенным отметкам для составления градуировочных кривых или таблиц [1].

Лабораторный стенд градуировки расходомеров предназначен для приобретения студентами навыков градуирования датчиков и определения погрешности полученных измерений.

В качестве эталонного датчика в работе решено использовать вихревой расходомер OPTISWIRL 4070 C, имеющий заводские настройки. С помощью него в ходе работы отградуированы расходомеры, выполненные собственноручно.

В первом разделе был проведен аналитический обзор составляющих стенда с целью выявления наиболее подходящих по заданным характеристикам датчиков.

В разделе 2 была составлена функциональная схема автоматизации, с подробным описанием ее. Определен перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации. Также была составлена структурная схема системы управления расходом воздуха.

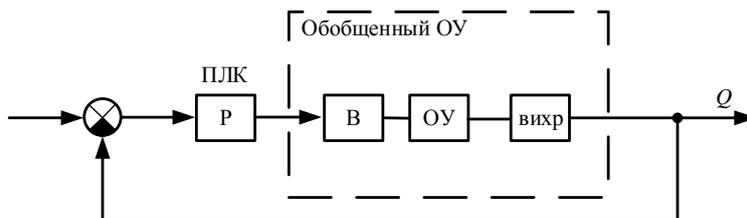


Рисунок 1. Структурная схема САУ расходом воздуха

Для разработки графической оболочки и программы для программируемого логического контроллера была выбрана среда программирования CoDeSys [2].

В результате выполнения научно-исследовательской работы был разработан стенд градуировки расходомеров и исследования САУ расходом воздуха.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Изд. 5-е, пер. и доп. – СПб.: Машиностроение, 2002. – 409 с.
2. ПЛК «ОВЕН» [Электронный ресурс]: Руководство пользователя. – Режим доступа: <http://www.owen.ru>

#### ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ УРОВНЯ

А.В. Клименко, М.С. Стулин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [from.damask@ya.ru](mailto:from.damask@ya.ru)

Цель данного проекта привести в рабочее состояние лабораторный стенд, позволяющий экспериментально изучить промышленные датчики уровня и разработать лабораторную работу, где в ходе работы необходимо ознакомиться с устройствами промышленных датчиков уровня, получить навыки градуировки датчиков уровня. Выяснить как влияют внешние возмущения на их показания.

Лабораторный стенд состоит из двух баков общей емкостью 3 м<sup>3</sup>: один из баков является сборным баком, второй мерной емкостью; а так же водяного насоса; трех датчиков расхода; клапанов отсечения; четырех датчиков уровня. Так же для зрительного контроля жидкости в мерной емкости присутствует мерная трубка.

Объектом исследования данной лабораторной работы являются датчики уровня: гидростатический ДУ, буйковый ДУ «Сапфир-22», емкостный ДУ «ДУЕ-11», акустический ДУ «Siemens Probe». Основной задачей при подготовке лабораторного стенда являлась градуировка датчиков. Для градуировки необходимо знать принцип работы каждого датчика. Работа гидростатического уровнемера основана на измерении давления на глубине  $h$ . Основной принцип работы буйкового уровнемера основан на действии силы Архимеда, действующей на буюк. Работа емкостных уровнемеров основана на различии диэлектрической проницаемости жидкостей и воздуха.

Действие ультразвуковых уровнемеров основано на измерении времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности жидкости и обратно. Анализируя принцип работы можно сказать, что при кипячении или заливе новой порции жидкости нестабильно себя будут вести гидростатический, буйковый и емкостной датчики уровня, т.к. волнения, повышения давления в жидкости и образование пузырьков сильно влияют на работу этих датчиков.

В ходе лабораторной работы необходимо будет выявить класс точности датчиков, анализируя показания четырех датчиков, при разной наполненности бака и сравнивая эти показания с уровнем в мерной трубке. Так же будет анализироваться показания датчиков при внешнем воздействии. В частности, в мерную емкость будет нагоняться воздух, посредством компрессора, вследствие- показания датчиков изменяться. В ходе работы будет необходимо выявить причину изменения показания уровнемеров и предложить способы устранения данного изменения.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. А.А. Денисевич, С.Н. Ливенцов, Е.В. Ефремов Методы контроля технологических параметров ядерных энергетических установок. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. -88 с.
2. А.В. Вильнина, А.Д. Вильнин, Е.В. Ефремов современные методы и средства измерения уровня в химической промышленности. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. -84 с.

#### **РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК»**

Л. Д Кожуховская, А. А. Денисевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

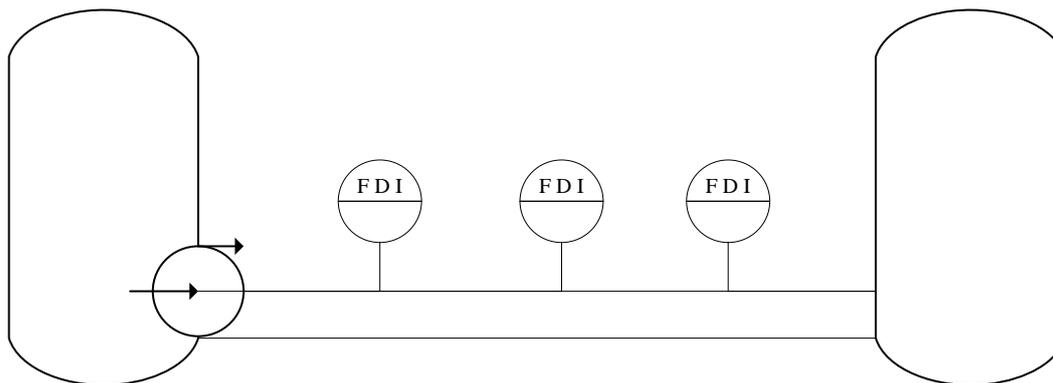
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ladygoth999@mail.ru

В современной промышленности широко используются датчики расхода и уровня для промышленного измерения и контроля уровня жидкости или сыпучих веществ, расположенных в хранилищах, технологических аппаратах и прочих ёмкостях. Использование данных приборов позволяет автоматизировать управление и контроль за некоторыми технологическими процессами, что значительно снижает влияние человеческого фактора. Благодаря этому существенно повышается производительность труда, качество производимой продукции и, что очень важно, - оптимизируется расход сырья. Для разработки данного лабораторного стенда были использованы такие датчики расхода жидкости, как ротаметр и расходомеры переменного и постоянного перепада давления.

Целью данной работы является изучение устройства, ознакомиться с устройством и принципом работы ротаметра, расходомеров переменного и постоянного перепадов давления и построить тарировочные графики.

В данной работе была произведена пуско-наладка стенда, а также разработано методическое пособие для данного лабораторного стенда. В процессе пуско-наладочных работ были откалиброваны расходомеры. Лабораторный стенд полностью функционирует.



*Рисунок 1. Функциональная схема автоматизации лабораторного стенда.*

В результате данной работы можно сделать вывод, что рассмотрение основ технологии измерения и методов измерения таких технологических параметров ядерных энергетических установок, как температура, давление, расход и уровень, на основе которых работают современные контрольно-измерительные приборы, позволяет нам использовать наши знания в технологическом процессе.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. А. А. Денисевич, С. Н. Ливенцов, Е. В. Ефремов, Методы контроля технологических параметров ядерных энергетических установок : учебное пособие; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2014. — 87 с.: ил. — Библиогр.: с. 86

#### **УМНЫЙ ДОМ ЗА 10\$**

Я. А. Кондрашев В.А. Курочкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [carloskane@mail.ru](mailto:carloskane@mail.ru)

Представляемая разработка позволяет производить управление с Android, iOS или Windows устройств, как вручную, так и по заданным алгоритмам, всей бытовой электроникой, оборудованной инфракрасными пультами дистанционного управления.

Устройство включает в себя модуль беспроводной связи (bluetooth), микроконтроллер, инфракрасный (ИК) передатчик для управления бытовой электроникой и ИК приемник для обучения новым командам. Для охвата стандартов передачи различных фирм используются ИК диоды на длины волн (860-960)нм.

В качестве микроконтроллера на начальном этапе для отработки алгоритма используется платформа Arduino nano [1] с подключенным к ней bluetooth модулем [2], датчиком температуры, влажности и освещенности. Таким образом готовое изделие получается размером со спичечный коробок.

Программа для микроконтроллера позволяет подключаться по bluetooth к носимым гаджетам и производить с ними обмен данными [3]. Все коды управления бытовыми устройствами хранятся в клиентском приложении, что позволяет автоматически и своевременно обновлять базу кодов.

В результате получаем устройство, которое объединяет в себе все пульты дистанционного управления, т.е. является универсальным пультом, а API распознавания голоса позволяет использовать в клиентском приложении функцию голосового управления.

Для автоматизации управления бытовыми устройствами в клиентском приложении существует возможность запланировать выполнение определенного кода управления (или их комбинации) как по времени, так и по измеряемым параметрам (температура, влажность, освещенность). Для бытовой электроники, не имеющей пультов управления, предлагается использовать ИК модули (например, модуль реле, который представляет собой розетку управляемую ИК командами).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arduino Nano [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>
2. Блютуз модуль HC-06 подключение к Arduino. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://zelectro.cc/HC-06\\_bluetooth\\_module](http://zelectro.cc/HC-06_bluetooth_module)
3. Подключение Bluetooth модуля к Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://entropiya-blog.ru/podklyuchenie-bluetooth-modulya-k-arduino.html>

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА РАСТВОРОВ СОЛЕЙ ТОКАМИ ДО 100КГЦ

В.А. Курочкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [tachyon@tpu.ru](mailto:tachyon@tpu.ru)

В традиционном способе нагрева для плавления отработанного ядерного топлива (ОЯТ) в солевом расплаве применяется прямой нагрев тигля. В патенте РФ № 2227336 [1], для повышения коррозионной стойкости тигля, предполагается, в процессе пирохимической переработки, использовать систему индукционного нагрева для плавления ОЯТ в солевом расплаве. При этом в патенте не указываются какие-либо технические характеристики такой системы.

Частота тока промышленно изготавливаемых систем индукционного нагрева металлов обычно не превышает 20кГц, что связано с ограничениями элементной базы и снижением эффективности самих индукторов на более высоких частотах. В данном случае необходимы токи более высокой частоты.

Для проверки возможности энергоэффективного индукционного нагрева ОЯТ в солевом расплаве использовался разработанный высокочастотный источник питания (ВИП) [2], позволяющий достигать частот тока до 100кГц. Для источника изготовлены индукторы на различные резонансные частоты (20кГц-100кГц). В качестве нагреваемой среды использовались различные однокомпонентные и многокомпонентные растворы солей. Наблюдение и фиксация распределения температуры нагреваемой среды происходило через тепловизор.

Проведенные исследования показали, что токи частотами до 100кГц не приводят к существенному нагреву солевых растворов и, следовательно, низкой энергоэффективности индукционного нагрева.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2227336 РФ. МПК7 G21C 19/42. Способ пирохимической переработки / ДЖЭПЭН НЬЮКЛИАР САЙКЛ ДИВЕЛОПМЕНТ ИНСТИТЮТ (JP). Заявлено 24.05.2002; Оpubл. 27.11.2003. Фамилия И.О. Название статьи // Журнал. – 2012. – Т.1. – № 11. – С. 71–77.
2. Пат. на полезную модель №121255 RU. Устройство равномерного нагрева поликристаллических кремниевых стержней // Горюнов А.Г., Курочкин В.А., Козин К.А. Селиванов В.В.; Заяв. 11.05.2012, Оpubл. 20.10.2012.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА, МОДЕЛИРУЮЩЕГО ПРОЦЕССЫ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

К.В. Ларина, Ю.А. Чурсин, А.И. Гожимов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

E-mail: [kslar.27@gmail.com](mailto:kslar.27@gmail.com)

В настоящее время компьютерное моделирование – один из самых мощных инструментов познания, анализа и проектирования, которым располагают специалисты, ответственные за разработку и функционирование сложных технологий и производств. Сущность методологии компьютерного моделирования состоит в замене исходного технологического объекта его математической моделью и в дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов. Эта идея дает возможность экспериментировать с объектами в тех случаях, когда делать это на реальном объекте практически невозможно или нецелесообразно.

Объектом исследования является проект SimSAR. Данное средство разработано в среде проектирования Qt Creator.

Qt Creator - свободная кроссплатформенная IDE для разработки на языке программирования C, C++ и QML. Включает в себя графический интерфейс отладчика и визуальные средства разработки интерфейса как с использованием QtWidgets, так и QML. Отличительная особенность Qt от других библиотек — использование Meta Object Compiler (МОС) — предварительной системы обработки исходного кода[1].

К рассмотренным принципам работы можно отнести создание новых классов путем наследования от базовых классов и взаимодействие сигналов и слотов различных функций. Наследование представляет собой способность производного класса наследовать характеристики существующего базового класса. Система сигналов и слотов заключается в том, что сигнал вырабатывается, когда происходит определенное событие, а слот вызывается в ответ на этот сигнал[2].

В результате проделанной работы сотрудниками кафедры ЭАФУ было разработано программное средство, позволяющее моделировать процессы ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Оно реализует графическое приложение для синтеза схем из предложенных элементов, описывающих ЯТЦ, и выполнения расчетов этих схем при выбранном шаге, времени и режиме вычисления.

Рассмотренный подход к решению задач, связанных с производством ЯТЦ, имеет высокую технико-экономическую эффективность внедрения с различных точек зрения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ж. Бланшет, М. Саммерфилд Qt 4. Программирование GUI на C++. — М.: «КУДИЦ-ПРЕСС», 2007. — 648 с.
2. Саммерфилд М. Qt. Профессиональное программирование. Разработка кроссплатформенных приложений на C++. — СПб.: «Символ-Плюс», 2011. — 560 с.

## ЛИНЕАРИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ МАГНИТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЛАЗМОЙ В ТОКАМАКЕ

А.М. Ли, В.М. Павлов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [alee@tpu.ru](mailto:alee@tpu.ru)

Экспериментальные установки типа токамак [1] являются импульсными установками, порядок работы которых определяется так называемым сценарием разряда. Сценарий разряда определяет программные траектории изменения напряжений и токов в обмотках, которые обеспечивают желаемую эволюцию электромагнитного поля в токамаке, а следовательно, желаемую эволюцию равновесия плазмы, таким образом, сценарий определяет программное магнитное управление на всех стадиях [2, 3] разряда.

На основной стадии разряда – плато тока, совместно с программным управлением действует замкнутая система магнитного управления плазмой, предназначенная для стабилизации тока, положения и формы плазмы [4]. Для синтеза замкнутых систем магнитного управления плазмой в токамаке широко используют линейные модели поведения плазмы в токамаке, полученные путем линеаризации исходной нелинейной модели. Синтез линейных моделей производится с использованием уравнения МГД равновесия (уравнение Грэда-Шафранова) плазмы в токамаке. Равновесие плазмы можно описать, задав значения тороидального тока плазмы  $I_{pl}$ , полоидальной беты  $\beta_{pol}$  и внутренней индуктивности  $l_i$  [1]. Решение уравнения равновесия в каждый момент времени описывает временную эволюцию электромагнитного поля в токамаке и границы плазмы:

$$\begin{aligned} L\dot{I} + RI + \Psi_{pl}(I, I_{pl}, \omega) &= U, \\ y &= h(I, I_{pl}, \omega). \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Psi_{pl}$  – вектор потокосцеплений между плазмой и обмотками,  $I$  и  $U$  – вектор токов и напряжений,  $L$  и  $R$  – матрица индуктивностей и сопротивлений,  $\omega = (\beta_{pol} \quad l_i)^T$  – вектор возмущений;  $y$  – вектор зазоров – расстояний между границей плазмы и лимитером в заданных точках.

Линеаризация (1) производится стандартным методом, путем разложения в ряд Тейлора около точки номинального равновесия  $(I_0, U_0, I_{pl,0}, y_0, \omega_0)$ , задавая приращения  $\delta I, \delta U, \delta I_{pl}, \delta y, \delta \omega$ :

$$\begin{aligned} L^* \delta \dot{x} + R \delta x + B \delta \dot{\omega} &= C \delta u, \\ \delta y &= D \delta x + F \delta \omega, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $x = (I \quad I_{pl})^T$ , структуру матриц  $L^*, B, C, D$  и  $F$  см. в [2].

Линейная модель (2) будет использована для синтеза регуляторов магнитного управления током, положением и формой плазмы токамака КТМ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wesson J. Tokamaks. – Oxford: Clarendon Press, 2004. – 749 p.
2. Ariola M., Pironti A. Magnetic control of tokamak plasmas. – Springer, 2008. – P. 162
3. Albanese R., Ambrosino G., Martone R., Pironti A. PF Coil Voltage Optimization for Start-up Scenarios in Air Core Tokamaks // IEEE Trans. on Magnetics. – 1994. – V.30. – № 5. – P. 3423-3426.
4. Ambrosino G., Albanese R. Magnetic Control of Plasma Current, Position, and Shape in Tokamaks // IEEE Control Syst. Mag. – 2005. – V. 25. – № 5. – P. 76–92.

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЛОННОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ НА БАЗЕ MPC

А.О. Маковеев, И.С. Надеждин, С.Н. Ливенцов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [makoveev@tpu.ru](mailto:makoveev@tpu.ru)

Хроматография как один из самых точных методов разделения смесей является чрезвычайно привлекательным средством для использования в самых разнообразных отраслях – от пищевой индустрии до атомной промышленности. Высокая точность метода ведет к его удорожанию и, зачастую, разделение смесей подобным образом является одним из самых дорогих этапов во всем производственном цикле продукта. В связи с этим, проектирование эффективной хроматографической колонны и ее оптимальное управление являются ключевыми факторами, позволяющими снизить временные и финансовые затраты. Создание адекватной математической модели упомянутой установки, и соответствующей ей системы автоматического управления, позволило бы оптимизировать режимы процесса, а также избежать ошибок на стадии проектирования и пуско-наладки.

Целью данной работы является оптимизация технологии разделения компонентов отработавшего ядерного топлива, с помощью колонны жидкостной хроматографии, а, следовательно, минимизации затрат на данную установку, как на стадиях проектирования и пуско-наладки, так и при постоянной эксплуатации в производственном цикле. Для достижения поставленной цели были разработаны математическая модель аппарата и система автоматического управления на базе MPC технологии. В результате анализа источников [1, 2] и заданных требований [3], для рассматриваемой установки, было предложено адаптировать линейную транспортную модель хроматографии, основу которой составляет материальный баланс и учет конечной скорости массопереноса [2]. В качестве изотерм распределения веществ между двумя фазами, рассмотрены соответствующие константы равновесия экстракции. Использование MPC технологии в системе управления позволяет решить задачу оптимизации и достичь высоких показателей качества при управлении столь сложным объектом. Предложенные модель и система управления были исследованы в пакете MATLAB/Simulink.

Использование компьютерного моделирования данной технологии позволит заменить трудоемкие, дорогие и опасные натурные эксперименты – расчетными.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bingchang L., Guiochon G. Modeling for Preparative Chromatography. – USA: Academic Press, 2003. – 365 p.
2. Preparative Chromatography / Edit by H. Schmidt-Traub. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005. – 485 p.
3. Техническое задание на разработку РД на создание укрупненного лабораторного аффинажного стенда для отработки экстракционно-кристаллизационной технологии переработки ОЯТ РУ БРЕСТ-ОД-300 – Северск: ОАО «СХК», 2013. – 62 с.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

К.А. Мамаев, А.В. Обходский

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

В научно-технической области в современном мире все чаще прибегают к компьютерному моделированию материалов для того, чтобы снизить возможные экономические затраты. Задачи моделирования

материалов решаются применением специализированных программных комплексов [1]. Непременной составляющей таких программных комплексов является система обработки данных (СОД). Задача моделирования с точки зрения обработки и расчетов специфична, так как моделирование происходит на атомном уровне, что накладывает на СОД определенные требования: высокая производительность, гибкость, масштабируемость, распараллеливание вычислений [2, 3].

Для реализации системы обработки данных в составе программного комплекса предложено объединить всех пользователей в единую распределенную вычислительную сеть на основе ПО Globus Toolkit. При этом в состав распределенной сети в качестве брокера ресурсов будет входить сервер обработки данных, который одновременно будет составлять основные вычислительные ресурсы системы [1].

Вычислительные ресурсы сервера будут сформированы на основе нескольких графических ускорителей с использованием современной и активно развивающейся программно-аппаратной архитектуры CUDA.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение о предоставлении субсидии RFMEFI57814X0095 от 28.11.2014 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обходский А.В., Мамаев К.А., Захаров А.М. Система хранения и распределенной обработки экспериментальных данных на основе самоорганизующейся GRID-сети. В кн.: Физико-технические проблемы атомной науки, энергетики и промышленности: тез. докл. VI междунар. конф. Томск, 5 – 7 июня 2014. С. 40.
2. Александров Е.И., Амиханов И.В., Земляная Е.В. и др. Принципы построения программного комплекса для моделирования физических процессов на гибридных вычислительных системах (на примере комплекса GIMM\_FREIP) // Вестник РУДН. Серия: Математика, Информатика, Физика. – 2014. – № 2. – С. 197-205.
3. Бондаренко А.А., Кононов Э.М., Косолапов О.А., Поляков С.В., Яковлевский М.В. Программный комплекс GIMM\_NANO. В кн.: Научный сервис в сети интернет: Все грани параллелизма, Новороссийск, 23-28 сентября 2013 г. - М.: Издательство МГУ, 2013. – С. 333 – 337.

#### АЛГОРИТМ УСРЕДНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДЕСУБЛИМАЦИИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

А. П. Маркелова, А.В.Вильнина, С.Н.Ливенцов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [elalmark@mail.ru](mailto:elalmark@mail.ru)

При разработке алгоритмов управления процессом десублимации гексафторида урана, который является циклическим процессом, возникает необходимость в решении следующих задач: 1) получение достоверного полезного сигнала на  $i$ -ом такте измерения технологической переменной; 2) получение среднего значения технологической переменной за заданный интервал усреднения.

В большинстве случаев при решении задач АСУТП обработка сигналов осуществляется простейшим способом фильтрации – усреднение за заданный временной интервал (скользящее среднее) [1, 2]. Процедура скользящего среднего представляет собой простейший способ фильтрации цифровым фильтром низких частот, предназначенный для усреднения в реальном времени и фильтрации ложных выбросов. Однако данный метод фильтрации обладает существенными недостатками: 1) излишняя инертность и ограниченная скорость реакции на изменения входного сигнала; 2) обработка большого количества данных для вычисления управляющего воздействия; 3) необходимость в дополнительном времени для накопления данных в случае потери

предыдущих результатов вычислений управляющего воздействия, в результате не запланированной перезагрузки контроллера.

Для их устранения исследована возможность использования цифрового фильтра с идентичными свойствами без потери точности в качестве фильтрации. Были проведены эксперименты по сравнению свойств рекуррентных цифровых фильтров 1-го, 2-го, 3-го порядков и скользящего среднего при обработке специальной модели промышленного сигнала, включающего постоянную, импульсную и случайную составляющие с целью выявления зависимости постоянной времени фильтра от интервала усреднения и времени цикла.

При анализе сопоставления усредненных сигналов скользящим средним и рекуррентными фильтрами определялся коэффициент соответствия, как отношение интервала усреднения к постоянному времени фильтра, с минимальным средне квадратичным отклонением. В результате получено выражение для расчета постоянной времени фильтра, позволяющий выполнять рекуррентными фильтрами функцию усреднения:  $T_f = T_u T_c / \exp(\sqrt{k})$ , где  $k$  – порядок фильтра.

Проверка достоверности полученных результатов на реальном промышленном сигнале показала, что фильтры 2-го и 3-го порядка с одинаковыми постоянными времени можно использовать в качестве усреднителя с погрешностью не более 1,5 % и 1,05 %, соответственно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изерман, Р. Цифровые системы управления. - М.: Мир, 1984. – 327 с.
2. Смит, Стивен. Цифровая обработка сигналов: практическое руководство для инженеров и научных работников: пер. с англ. / С. Смит. — Москва: Додэка-XXI, 2011. - — 718 с.

#### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИСТОЧНИКА ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО СОЛЕНОИДА ТОКАМАКА КТМ

И.И. Матаннанов, Зарва Д.Б, В.М. Павлов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [matannanov-ivan@mail.ru](mailto:matannanov-ivan@mail.ru)

Современная жизнь общества требует огромное количество электрической энергии. Причем получение этой энергии не должно пагубно влиять на окружающую среду, а также должно быть максимально выгодным в экономическом плане. Одним из решений этой проблемы является получение энергии при помощи управляемого термоядерного синтеза. Наиболее перспективным устройством для осуществления управляемого термоядерного синтеза в наше время является токамак.

В данной работе проведена разработка модели для схемы выпрямления трехфазного напряжения для источника питания центрального соленоида токамака КТМ. Назначение модели заключается в исследовании нормальных и аварийных режимов работы источника питания с целью разработки алгоритмов диагностики реального источника питания по результатам измерения выходных токов и напряжений.

Сама схема выпрямления была реализована в пакете Matlab/Simulink [1]. Основными блоками в модели являются источник трехфазного напряжения, трехфазный выпрямитель Ларионова на тиристорах, схема формирования управляющих импульсов, индуктивно-резистивная нагрузка. Были проведены исследования, влияющие на работоспособность данной модели, путем изменения угла отпирания тиристором, а также

проанализировано состояние модели при аварийных режимах работы, которые часто на практике происходят из-за неисправности выпрямительных элементов [2,3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.
2. Е.Н. Зимин Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями. – М.: Энергоиздат, 1981 – 192с.
3. Полупроводниковые выпрямители / Е. И. Беркович, А. И. Боровой, В. М. Венделанд; Под ред. Ф. И. Ковалева, Г. П. Мостковой. — М. : Энергия, 1967.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ БЮДЖЕТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ

С.А. Митяев, В.А. Курочкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

В результате исследований [1], разработан высокочастотный источник питания (ВИП) [2], обеспечивающий частоту генерируемого тока до 100кГц и возможность изменения параметров тока, напряжения и мощности. Для проведения экспериментов на ВИП был реализован интерфейс оператора в SCADA TraceMode, в нем же, для удержания колебательного контура в резонансе экстремальный регулятор частоты по амплитуде тока или напряжения.

Задатчиком выступает микроконтроллер ATMEGA328P, связанный с ЭВМ оператора и непосредственно с платой управления (ПУ) IGBT транзисторами мостового инвертора установки. ПУ реализует подачу на затворы транзисторов широтно-импульсного модулированного (ШИМ) сигнала, параметры которого определяются задатчиком. Частота ШИМ напрямую связана с частотой выходного тока установки, скважность определяет форму выходного тока и мощность. ПУ в свою очередь регулируется по двум аналоговым каналам для каждого параметра ШИМ. В микроконтроллере отсутствуют цифро-аналоговые преобразователи, поэтому генерация аналоговых сигналов управления ПУ реализована встроенными модулями ШИМ микроконтроллера с последующим прохождением сигналов через фильтр нижних частот. Необходимая амплитуда аналогового сигнала, передающегося на ПУ, задается скважностью ШИМ сигнала микроконтроллера. Скважность ШИМ сигнала микроконтроллера задается посредством протокола ModBus с ЭВМ. Экстремальный регулятор частоты реализован в SCADA TraceMode и работает по минимальному значению тока перед резонансным контуром. Аппаратно связь реализована посредством промышленного интерфейса RS-485. Подключение со стороны микроконтроллера выполнено с помощью микросхемы MAX485, со стороны ЭВМ преобразователем RS485-USB. Интерфейс оператора в SCADA TraceMode выполнен в виде мнемосхемы управляемого источника. Датчики тока на выходе источника подключены к аналогово-цифровому преобразователю микроконтроллера, что позволяет отслеживать параметры установки непосредственно через интерфейс оператора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка системы автоматического управления резистивным нагревом кремниевых стержней переменным током [Электронный ресурс] / А. Г. Горюнов [и др.] // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). — 2012. — Т. 321, № 5 : Управление, вычислительная техника и информатика . — [С. 228-233].
2. Пат. на полезную модель №121255 RU. Устройство равномерного нагрева поликристаллических кремниевых стержней // Горюнов А.Г., Курочкин В.А., Козин К.А. Селиванов В.В.; Заяв. 11.05.2012, Опубл. 20.10.2012.

## НЕЧЕТКАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМ ОБЪЕКТОМ

И.С. Надеждин<sup>1</sup>, А.Г. Горюнов<sup>1</sup>, К.А. Козин<sup>1</sup>, Ф. Маненти<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Миланский политехнический университет, Италия, г. Милан, ул. Леонардо де Винчи, 32, 20133

E-mail: [kun9@list.ru](mailto:kun9@list.ru)

Обычно химические процессы обладают значительной нелинейной динамикой. Кроме того, технологические установки соединены между собой и их динамическое поведение в значительной степени зависит от этих соединений и, как следствие, производительность традиционных систем управления часто оказывается не достаточной.

Однако в настоящее время традиционные пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы наиболее часто используются для управления технологическими процессами. Популярность ПИД регуляторов обосновывается простотой структурой автоматизированных систем управления и их эффективностью для линейных систем управления [1].

Простые ПИД регуляторы не эффективны для сложных динамических систем. Сложными динамическими системами являются системы с нелинейными статическими характеристиками, то есть те системы, которые описываются дифференциальными уравнениями с изменяющимися во времени параметрами. Это особенность существенно усложняет конструкцию систем управления на основе ПИД-регуляторов и снижает их эффективность. В последнее время проводится большое количество исследований с целью объединить традиционный ПИД-регулятор с контроллером нечеткой логики, чтобы достичь лучшего качества управления [2].

В данной работе предлагается гибридный ПИД-регулятор с нечеткой логикой, у которого настройка параметров осуществляется в режиме реального времени. Для расчета параметров ПИД-регулятора используется контроллер Мамдани с нечеткими правилами, полученными путем минимизации функционала:

$$\min(Je_k + Ju_k + Jn_k)$$

Так же в статье сравнивается ПИД регулятор с нечеткой логикой и ПИД-регулятор, настроенный с помощью стандартных и хорошо известных методов (метод оптимального модуля, метод Зиглера-Никольса, AMIGO и др.). Предлагаемый метод синтеза автоматической системы управления позволяет разрабатывать автоматические системы управления, которые обеспечивают низкую чувствительность к неустойчивости параметров процесса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. El-Bardini M., El-Nagar A.M. Interval type-2 fuzzy PID controller for uncertain nonlinear inverted pendulum system // ISA Transactions. – 2014. – № 53(3). P. 732–743.
2. Karasakal O., Guzelkaya M., Eksin I., Yesil E., Kumbasar T. Online tuning of fuzzy PID controllers via rule weighing based on normalized acceleration // Engineering

## ПАССИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ

И.С. Надеждин<sup>1</sup>, А.Г. Горюнов<sup>1</sup>, В.Ф. Дядик<sup>1</sup>, Ф. Манентти<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Миланский политехнический университет, Италия, г. Милан, ул. Леонардо де Винчи, 32, 20133

E-mail: [kun9@list.ru](mailto:kun9@list.ru)

В настоящее время, в химической и атомной промышленности на любом этапе обработке (интегрированное разделение, извлечение, процессы кристаллизации для очистки U и Pu от других гибридных побочных компонентов) существует высокий уровень автоматизации. С одной стороны, все процессы должны удовлетворять высоким технологическим показателям в отношении уровня безопасности. С другой стороны, это сложные динамические системы. Как показывает опыт, традиционные ПИД-регуляторы не обеспечивают требуемого качества управления сложными динамическими системами [1]. В последнее время проводится все больше исследований с целью разработки гибридного регулятора с нечеткой логикой на базе ПИД-регулятора, у которого настройка параметров осуществляется в режиме реального времени. Для настройки регуляторов с нечеткой логикой требуется идентификация технологического объекта управления в режиме реального времени. Проблема идентификации привлекает большое количество научных интересов и многие методы для данной проблемы доступны в литературе [2, 3].

В работе предложена процедура идентификации технологического объекта управления в замкнутом контуре, то есть в составе работающей системы автоматизированного управления. Изменение регулируемой переменной, вызванное изменением не измеряемого возмущающего воздействия, считается сигналом, для начала идентификации. Параметры объекта управления находятся с помощью оптимизационного метода Левенберга-Марквардта. Путем моделирования в пакете MATLAB/Simulink доказана возможность идентификации объекта в замкнутом контуре при наличии ступенчатых возмущений с неизвестными характеристиками.

Предлагаемая процедура идентификации использовалась, при разработки автоматизированной системы управления экстракционным блоком аффинажа урана с нечеткой логикой на базе ПИД-регулятора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gao Z, Kong D, Gao C, Chen M. Modeling and control of complex dynamic systems // Journal of Applied Mathematics. – 2013. Article number 151372. DOI: 10.1155/2012/869792
2. Zhou L., Li X., Pan F. Gradient based iterative parameter identification for Wiener nonlinear systems // Applied Mathematical Modelling. – 2013. – № 37(16-17). P. 8203–8209.
3. Ikhouane F, Giri F. A unified approach for the parametric identification of SISO/MIMO Wiener and Hammerstein systems // Journal of the Franklin Institute. – 2014. – № 351(3). P. 1717–1727.

## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ ДЕСУБЛИМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

А.В. Николаев, Н.С. Криницын, В.Ф. Дядик

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [0741144@tpu.ru](mailto:0741144@tpu.ru)

Технология промышленного производства гексафторида урана путём высокотемпературного фторирования оксидов и тетрафторидов урана насчитывает многолетнюю историю. На сегодняшний день она зарекомендовала себя своей надёжностью и качеством получаемого продукта. Однако повышение эффективности работы предприятия является неотъемлемой частью его непрерывного развития [1].

Сублиматный завод АО «СХК» является единственным действующим производителем гексафторида урана в России [2]. Поставленная перед заводом задача повышения производительности потребовала ввести в эксплуатацию дополнительную технологическую линию. Это привело к повышению нагрузки как на всё производство гексафторида урана, так и на узел десублимации в частности. В результате, резервные аппараты третьей (контрольной) ступени узла десублимации были введены в режим постоянной эксплуатации. Увеличилась нагрузка и на аппараты других ступеней.

В работе предлагается алгоритм автоматизированного управления аппаратами узла десублимации. Для каждой ступени узла десублимации представлен алгоритм управления, в основу которого заложен принцип расчёта циклов подачи хладагента и теплоносителя в трубчатку аппаратов. Предлагаемые циклы работы позволяют стабилизировать распределение нагрузки по ступеням узла десублимации, достигая накопление слоя десублимата одинаковой толщины. За счёт рекомендуемого порядка включения секций трубчатки достигается стабилизация радиального распределения температур во внутреннем объёме и равномерный сброс накапливаемого продукта. Критерием при расчёте является толщина десублимированного гексафторида урана на стенках трубчатки.

Алгоритмы управления первыми двумя ступенями реализуются на действующем оборудовании. Для применения алгоритма управления контрольной ступенью предлагается техническая модернизация исполнительных механизмов, отвечающих за смену режимов работы аппаратов.

Предлагаемый алгоритм автоматизированного управления узлом десублимации позволяет вывести один из используемых аппаратов в резерв, что уменьшает количество возможных простоев во время работы производства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фторидные технологии в производстве ядерного топлива: монография / Г.Г.Андреев, А.Н.Дьяченко; ТПУ.– Томск: Изд-во ТПУ, 2014.– 152с.
2. Мифтахова М. Новые лица, новые задачи // Новое время. – 2014.– № 1. – С. 4–5.

**РЕАЛИЗАЦИЯ СТЕКА ПРОТОКОЛОВ TCP/IP С НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С ЯДРОМ  
Cortex-M4 ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ОБЪЕКТАМИ**

Р.А. Нурмухаметов, Ю.А Чурсин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ran@tpu.ru

На сегодняшний день стек протоколов TCP/IP, разработанный более сорока лет назад по заказу министерства обороны США, применяется во всем мире для объединения компьютеров в сети Internet. Основное достоинство данного стека протоколов в том, что он обеспечивает надежную связь между сетевым оборудованием от различных производителей, а также поддерживается всеми современными операционными системами. С другой стороны, в сфере промышленного производства часто возникает потребность в удаленном мониторинге технологических процессов. Поэтому возникла идея разработать простое и в то же время безопасное решение. На базе макетной платы STM32-E407 от Olimex был реализован работоспособный стек протоколов TCP/IP со всеми необходимыми для данной задачи наборами протоколов. Макетная плата работает на микроконтроллере STM32F407ZGT6 с ядром Cortex-M4 и включает в себя контроллер Ethernet LAN8710A-EZC. На данном этапе стенд может быть подключен к сети Internet и управляться из окна браузера компьютера, в любой точке мира. В частности, реализовано несколько дискретных и аналоговых каналов ввода/вывода. Таким образом, стенд может осуществлять передачу контролируемых технологических параметров по сети Internet на любой компьютер, который имеет подключение к Internet, а также получать управляющие команды с этого компьютера.

Основным достоинством данной реализации являются простота и универсальность. Данный стек без особых сложностей может быть перенесен на микроконтроллер другого производителя. Работа стека протоколов без операционной системы, делает это решение устойчивым к DoS атакам, основанным на переполнении стека ОС. Так же стоит отметить, что контроллер работает с циклом 100 мкс, что является отличным показателем для контроллеров данной ценовой категории, и может быть использован для управления объектами с малыми постоянными времени.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Описание микропроцессора STM32F407ZGT6: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00037051.pdf>. (Дата обращения: 29.05.2015).
2. Принципиальная схема Olimex STM32 E407: [электронный ресурс] // URL: [https://www.olimex.com/Products/ARM/ST/STM32-E407/resources/STM32-E407\\_sch.pdf](https://www.olimex.com/Products/ARM/ST/STM32-E407/resources/STM32-E407_sch.pdf) (Дата обращения: 29.05.2015)
3. Описание Ethernet-контроллера LAN8710A-EZC: [электронный ресурс] // URL: <http://www.farnell.com/datasheets/1686378.pdf> (Дата обращения: 29.05.2015)
4. Статья «подключение микроконтроллера к локальной сети»: [электронный ресурс] // URL: <http://we.easyelectronics.ru/electro-and-pc/podklyuchenie-mikrokontrollera-k-lokalnoy-seti-tcp-klient.html> (Дата обращения: 29.05.2015)

## АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВЫХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ КАМЕР

А.Х. Оздиев, Д.А. Карпов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. С.Н. Ливенцов  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [ozdiev@tpu.ru](mailto:ozdiev@tpu.ru)

Информации, представленной в паспортах цифровых быстродействующих камер, часто бывает недостаточно, что вынуждает пользователя проводить дополнительные тесты, которые не всегда могут обеспечить достоверными данными о характеристиках камеры. Стандарт *EMVA 1288* определяет единую систему методов измерения, вычисления и представления параметров и характеристик камер и сенсоров, используемых в быстродействующих системах оценки качества процессов на производстве, на основе которой можно систематизировать сенсоры и камеры[1]. Экспериментальная установка *Visible Light Setup (VLS)* реализует эти методы для оценки параметров непрямых детекторов рентгеновского излучения.

Эксперимент делится на два этапа: измерение плотности излучения в заданной точке и получение экспериментальных данных с сенсора исследуемой камеры. Проведение эксперимента в ручном режиме требует строгую аккуратность действий и высокую точность расчетов, что не всегда удается достичь по причине человеческого фактора, это является основной причиной высокой ресурсозатратности процесса, особенно в отношении времени. На синхротроне *ANKA* задачу стандартизации ПО решает система *Concert Control System*, имеющая классовую структуру. Система *Concert* предоставляет возможность работать в интерактивном режиме путем использования стандартных скриптов или написания своих собственных[2]. Чтобы получить преимущества использования системы *Concert* была проведена пошаговая интеграция элементов установки *VLS*, предполагающая модернизацию ПО в соответствии с требованиями разработчиков системы *Concert*. На основе полученного ПО была разработана САУ экспериментом.

Оценка параметров сенсора камеры сводится к оценке 4 основных характеристик: линейности, темнового тока, однородности и спектральных характеристик[3]. В соответствии с этим, алгоритм работы САУ был разбит на 4 этапа: 1 – определение направления изменения времени экспозиции, ведущего к засветке сенсора; 2 – определение интервала времени экспозиции, на котором происходит засветка сенсора; 3 – определение времени экспозиции, соответствующего засветке сенсора. 4 этап – оценка вышеперечисленных характеристик.

Автоматизация установки позволила значительно сократить время проведения измерений, повысить воспроизводимость и точность экспериментов, а также гибкость системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. European machine vision association [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.emva.org/cms/index.php?idcat=26>
2. M. Vogelgesang, T. Farag'о, T. dos Santos Rolo, A. Kopmann and T. Baumbach, When hardware and software work in concert, International Conference on Accelerator and Large Experiment Physics Control Systems. 2013
3. Standard for characterization of image sensors and cameras. 29 November 2010. Release number 3.0

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НИТРАТА УРАНИЛА В ЛИНЕЙНОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SIMSAR

А.И. Гожимов, Ю.А Чурсин, А.О. Очоа Бикэ, О.В. Шмидт

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [Ju @tpu.ru](mailto:Ju@tpu.ru)

Процесс кристаллизации является сложным процессом, сопровождающимся выделением твердой фазы в виде кристаллов. Исследование в данном направлении отражены в ряде работ русских и японских исследователей [1 – 5]. Заметная роль здесь отводится проведению теоретических исследований с использованием различных математических моделей. Из-за сложности постановки реальных экспериментов и недостатка знаний о процессе встает необходимость реализации виртуального эксперимента для обнаружения нестационарных режимов его протекания. Поэтому моделирование процесса кристаллизации нитрат уранила является актуальной задачей. В данный момент в России создается аффинажный стенд для отработки экстракционно-кристаллизационной технологии переработки ОЯТ (в рамках проектного направления «ПРОРЫВ»), для этого требуется составление моделей всех его узлов и моделирование их одновременной работы, что требует больших вычислительных мощностей. Предполагается моделирование не только самого химического процесса, но и его аппаратного оформления.

В связи с этим целью данной работы является моделирование роста кристаллов ГНУ в линейном кристаллизаторе. Для достижения поставленной цели используется программный продукт SimSar, специально созданный для моделирования производств ЗЯТЦ.

Результатом работы стала модель позволяющая, анализируя различные температурные режимы процесса, снизить потери полезного материала, а также отследить динамику процесса в различных режимах. Представленная реализация модели вошла в состав расчетного комплекса ЗЯТЦ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горюнов А.Г., Дядик В.Ф. и др. Математическое моделирование технологических процессов водно-экстракционной переработки ядерного топлива. – Томск: ТПУ, 2011. – 237с.
2. Yano K. Research and Development of Crystal Purification for Product of Uranium Crystallization Process// Proc. Int. Conf. GLOBAL 2009. – 2009. – 9093.
3. Chikazawa T., Kikuchi T., Shibata A., Koyama T., Homma S. Batch crystallization of uranyl nitrate// Journal of Nuclear Science and Technology. – 2008. –Т. 45.–№ 6. – С. 582-587.
4. Homma S., Ishii J., Kikuchi T., Chikazawa T., Shibata A., Koyama T., Koga J., Matsumoto S. Flowsheet Study of U-Pu Co-Crystallization Reprocessing System// Journal of Nuclear Science and Technology. –2008. – Т. 45. –№6. –С. 510-517.
5. Veslov S., Volk V., Kasheev V., Podimova T., Posenitsky E. Mathematic Simulation of Crystallization Affinage Process of Spent Nuclear Fuel Reprocessing Desired Products in Line Crystallizer// Advanced Materials Research. – 2014. –Т. 1084.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПАРНОГО АППАРАТА

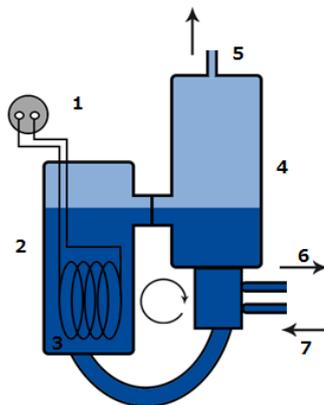
А.А. Полосин, С.Н. Ливенцов, Е.В. Ефремов, П.П. Локтюшин

Томский Политехнический университет

Россия, Томск, ул. Ленина. 30, 634050

e-mail: chadik.free@gmail.com

В данной работе рассмотрена проблема физического, компьютерного и математического моделирования выпарного аппарата с естественной циркуляцией и выносной греющей камерой (Рис.1).



*Рисунок 1. Схема выпарного аппарата с выносной греющей камерой. 1 - источник питания, 2 – греющая камера, 3 – ТЭН, 4 – сепаратор, 5 – паровывод, 6 – канал отвода раствора 7 – канал поступающей жидкости. Стрелками обозначены направления движения жидкости и пара*

Это один из самых распространенных аппаратов в атомной, химической и пищевой промышленности, предназначенный для концентрирования растворов различных веществ путём испарения растворителя. Физическая модель выпарного аппарата выполнена в прозрачном варианте и оснащена системой контроля температуры, давления и расхода растворов в разных точках. Кроме того, предусмотрено точное дозирование исходного и конечного растворов и подводимого тепла. Основное отличие данной физической модели от других известных [1] – возможность измерения и изменения скорости потока раствора при его циркуляции. В докладе приводятся характеристики и описание процессов, происходящих в аппарате, анализ принципов аппаратного оформления процесса выпаривания, классификация аппаратов в зависимости от конструктивных особенностей и технических решений. Также произведен сравнительный анализ возможных способов моделирования и выбор наиболее рационального с позиции экспериментального определения зависимостей, необходимых для решения задач расчета, проектирования и синтеза алгоритмов оптимального управления процессом выпаривания. На основе известных физических закономерностей разработана математическая модель и ее компьютерная реализация, с использованием пакета MATLAB Simulink. Сочетание физической и компьютерной моделей при экспериментальных исследованиях позволит лучше понять проходящие физические процессы, получить необходимые соотношения для описания физических закономерностей и их зависимость от конструктивных особенностей выпарного аппарата.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Лабораторный выпарной стенд с автоматизированной системой управления/ Гофман Ф.Э. [и др.] // Химическая технология. – 2012. – №9. – С.565–570.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА  
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СИСТЕМЫ «ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – АСИНХРОННЫЙ  
ДВИГАТЕЛЬ»**

А.Н. Пушинская, Т.С. Черняева, Ю.А. Чурсин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [anp@tpu.ru](mailto:anp@tpu.ru)

Одними из самых распространенных устройств атомной промышленности, являются асинхронные трехфазные двигатели, которые применяются в компрессорах, насосах, турбинах. Достоинства данных двигателей заключаются в простоте использования, универсальности, дешевизне и надежности. Однако, присутствуют и недостатки, такие как невозможность простой регулировки скорости вращения ротора и очень большой пусковой ток.

Существуют различные способы устранения недостатков использования асинхронных двигателей. Один из способов заключается в применении частотных преобразователей. Таким образом, появляется необходимость создания лабораторного стенда, в котором можно будет получить практические навыки по исследованию систем автоматического управления асинхронными двигателями.

Программное обеспечение лабораторного стенда состоит из двух частей. Первой частью является программа, разработанная в среде программирования IAR Embedded Workbench 6.40, которая управляет работой отладочной платы Stm32L-Discovery, необходимой для связи ПК оператора с технической частью стенда. Вторая часть программного обеспечения – это графический интерфейс оператора, разработанный в SCADA-системе Trace Mode 6.06.

Лабораторный стенд позволяет:

- получить практические навыки по управлению асинхронным двигателем;
- получить практические навыки по синтезу САУ двигателем;
- ознакомиться с наиболее часто применяемыми в промышленности асинхронными двигателями.

Разработанный лабораторный стенд планируется внедрить в учебно-образовательный процесс кафедры ЭАФУ.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кацман М.М. Электрические машины: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф образования. – 7-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 496 с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 265 с.
3. Руководство пользователя по IAR Embedded Workbench [электронный ресурс]: <http://www.iar.com>.
4. Мезенцев А.А. САПР TRACE MODE 6: учебно-методическое пособие / А.А. Мезенцев, В.П. Павлов; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 137 с.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АППАРАТА ГИДРОФТОРИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

О.П. Савитский, В.Ф. Дядик

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [oleg\\_sav@pochta.ru](mailto:oleg_sav@pochta.ru)

На АО «Сибирский химический комбинат» проводятся работы по снижению себестоимости готовой продукции и увеличению производственных мощностей. Одним из результатов данных работ является ввод в эксплуатацию установки гидрофторирования.

Проведение необходимых для настройки контуров управления экспериментов на действующей установке неоправданно, поскольку сопряжено с большими временными и материальными затратами. Таким образом, возникает необходимость создания компьютерной модели, позволяющей провести оценку различных режимов работы аппарата.

Предпочтение отдано в пользу ячеечной модели. Она позволяет представить аппарат по высоте в виде последовательности ячеек, каждая из которых представляет собой модель идеального смешения и имеет набор параметров, характеризующих работу аппарата, таких как концентрации, скорости движения реагентов, температура и т. д.

Модель учитывает основные химические реакции взаимодействия фтористого водорода с оксидами урана [1].

При разработке модели приняты следующие допущения, не влияющие на рассчитываемые параметры установки [2]: расчет распределения компонентов только по одной пространственной координате (по высоте реторты); пренебрежение распределением потоков и температур по радиусу аппарата; пренебрежение формой распределения температуры внутри стенки (линейный закон); оксиды урана реагируют пропорционально их содержанию в закиси-окиси; каждая ячейка представлена моделью идеального смешения; твердофазные и газообразные компоненты перемещаются только в противоположных направлениях; в сепарационной зоне химические реакции не протекают.

Каждая ячейка модели представлена в виде системы дифференциальных уравнений, первое из которых описывает материальный, а второе – тепловой баланс[3].

На текущий момент времени с использованием данной модели проводятся работы по исследованию режимов работы гидрофторатора и синтез алгоритмов управления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Г.Г., Дьяченко А.Н. Фторидные технологии в производстве ядерного топлива. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 152 с.
2. Ranade V.V. Computational Flow Modeling for Chemical Reactor, Engineering Academic Press, 2002, 452p.
3. Вольтер, Б. В. Устойчивость режимов работы химических реакторов [Текст] / Б. В. Вольтер, И. Е. Сальников // М.: Химия. – 1981. – 200 с.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОРМАТА ФАЙЛА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

А.А. Соломыкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [anokrid@mail.ru](mailto:anokrid@mail.ru)

Для передачи данных с подсистем сбора данных (ПСД) используется X-файл. Данный файл является структурированным контейнером для хранения и перемещения данных с ПСД на серверы хранения и обработки данных. В контейнере, можно хранить следующие структуры данных:

- Одномерный массив данных зависимый от времени;
- Одномерный массив данных зависимый от переменной;
- Многомерный массив данных;
- Многомерный массив данных зависимых от времени;
- Мультимедиа данные.

Так как файл может хранить различные структуры данных, то доступ к ним становится затруднителен для программиста. Чтобы упростить обращение к данным, находящимся в файле, была реализована библиотека WorkXF. При использовании данной библиотеки упрощается не только доступ к данным, но и ускоряется процесс создания приложений, обрабатывающих данные [1].

На базе данной библиотеки и библиотеки rqlib была разработана программа преобразования формата файла экспериментальных данных. Программа позволяет записывать информацию о X- файлах в базу данных, а также данные, хранящиеся в файле. Имеется возможность записи как одиночного файла, так и группы файлов сразу. В качестве базы данных используется СУБД PostgreSQL.

PostgreSQL - это объектно-реляционная система управления базами данных. Поскольку СУБД PostgreSQL выпускается под либеральной лицензией, её можно бесплатно использовать, модифицировать и распространять для любых целей, включая личные, коммерческие или академические [2]. У данной базы данных есть ряд преимуществ, по сравнению с другими [3]:

- Открытое ПО соответствующее стандарту SQL;
- Большое количество дополнений;
- Наличие большого числа расширений;
- Объектность – данная СУБД не только реляционная, но и объектно-ориентированная.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Библиотека доступа к X-файлам. Руководство программиста – Томск, 2008 г. – 28с.
2. Документация по PostgreSQL 8.4.2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://postgresql.ru.net/> – 20.10.2014.
3. Сравнение систему управления базами данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://postgresql.ru.net/> – 18.10.2014.

## РАЗРАБОТКА СТЕНДОВ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ

### «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

А. А. Термер, А. В. Чубукин., А. А. Денисевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: Kenshi0771@gmail.com

Как всем известно, в образовательном процессе важную роль играет практическое применение теоретических знаний. Для этого вводят часы лабораторных занятий, создают лабораторные стенды и т.д. Возможность практического изучения данного курса очень важна, ведь наглядная демонстрация теоретического материала с личным участием студентов помогает сформировать понимание предмета в целом.

Как следствие, целью научной работы является создание лабораторных стендов для лабораторного практикума в соответствии с учебным планом по курсу «Электротехническое материаловедение». В итоге планируется спроектировать и сконструировать лабораторные стенды на различные тематики, такие как:

- изучение основных магнитных характеристик ферро- и ферромагнитных материалов;
- исследование экранирующих свойств проводников различного рода и различной формы [1].

Целью первой лабораторной работы является экспериментальная оценка влияния напряженности и частоты магнитного поля на индукцию и относительную магнитную проницаемость ферро- и ферромагнитных материалов.

Целью второй лабораторной работы является экспериментальная оценка экранирующих свойств проводников различного рода и различной формы.

Для изучения основных магнитных характеристик ферро- и ферромагнитных материалов были использованы различные материалы и формы сердечников и различные обмотки (различные диаметр поперечного сечения и материал обмоточного провода, количество витков). В конечном счете требуемая кривая намагничивания (гистерезис) была получена, на данный момент стенд дорабатывается до вида пригодного для эксплуатации студентами на лабораторном практикуме [2].

Стенд по второй теме показывает, что экранирующие свойства материалов проявляются в явном виде, а именно значительное подавление шумов различной частоты на экранируемом проводнике. В качестве экранирующих материалов предложены медь и алюминий.

Таким образом можно сделать вывод, что при создании стендов для лабораторного практикума можно столкнуться с различного рода проблемами, которые позволяют углубить знания в исследуемой области, т.е. разработка стендов – это не только польза для студентов, которые будут наглядно изучать дисциплины, но и для студентов, которые занимаются разработкой данных стендов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудкин А.Н., Ким В.С., Лабораторный практикум по курсу «Электротехническое материаловедение». – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2016. – 81 с.
2. Дудкин А.Н., Ким В.С., Электротехническое материаловедение: учебное пособие. –Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 216 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК В СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ

Д.С. Фёдоров, А.О. Плетнёв, А.А. Денисевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [linenettt@gmail.com](mailto:linenettt@gmail.com)

В перспективных реакторах, разрабатываемых в рамках проекта «ПРОРЫВ», предполагается использовать смешанное нитридное уран-плутониевое топливо, которое на первом этапе будет производиться из рециклированных материалов (плутония), полученных из отработавшего ядерного топлива тепловых реакторов, а затем из собственных рециклированных делящихся материалов. Таким образом, для изготовления топлива на разных этапах будет использоваться различное исходное сырье. Поэтому возникает необходимость отработки физико-химических и физико-механических процессов, лежащих в основе этих технологий. Основными этапами изготовления топливных таблеток является подготовка, полученного на стадии синтеза, смешанного нитридного уран-плутониевого топлива порошка (дробление, измельчение, добавка связующего), прессование и спекание топливной таблетки [1].

За основу моделирования процесса прессования топливных таблеток в стационарном режиме взята стационарная модель, которая применяется для моделирования прессования в порошковой металлургии [2]. При прессовании таблеток в жестких пресс-формах все соотношения записываются для случая осесимметричной задачи в цилиндрических координатах. Напряженно-деформированное состояние рассматривается в квазистатическом приближении в текущий момент деформирования, вследствие чего используется представление Эйлера. Моделирование проводилось для порошков нитрида урана в связи с отсутствием экспериментальной информации о свойствах смешанных нитридов. Определен набор экспериментальных данных, необходимых для дальнейшего развития математической модели.

Разрабатываемые математические модели будут внедрены в программное обеспечение, разрабатываемое в рамках проекта «ПРОРЫВ» сотрудниками кафедры Электроники и автоматизации физических установок ТПУ, для определения оптимальных режимов работы технологических аппаратов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скороход В.В. Реологические основы теории спекания. – Киев: Наукова думка, 1972. – 152 с.
2. Штерн М.Б., Сердюк Г.Г., Максименко Л.А. и др. Феноменологические теории прессования порошков. – Киев: Наукова думка, 1982. – 140 с.

## ИСПЫТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ рН, УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ И ИОНОВ АММОНИЯ ФИРМЫ WTW

А.Л. Хуснулина, Д.Ю. Колоколов, Л.Р. Меринова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [alenaxyc@gmail.com](mailto:alenaxyc@gmail.com)

Очистка сточных вод перед их сбросом в водоемы является важной экологической задачей предприятий. Не менее важным является и сопровождающий процесс – контроль качества очистки сточных вод. Качество воды – это комплексный показатель, содержащий в себе целый ряд показателей. В настоящей

работе будут представлены результаты испытаний промышленных датчиков рН, УЭП и ионов аммония фирмы WTW: SensoLyt 700 IQ, TetraCon 700 IQ и Ammolylt Plus 700 IQ, соответственно.

Датчик рН SensoLyt 700 IQ предназначен для непрерывного измерения рН в жестких условиях. Калибровка промышленного датчика рН была выполнена по двум точкам на основе стандарт-титров: 6,86 и 9,18 с помощью процедуры калибровки CAL CON 2P [1]. Выполненные измерения подтвердили корректность измерений рН промышленным датчиком SensoLyt 700 IQ с точностью, не уступающей точности лабораторного анализатора жидкости ЭКСПЕРТ-001 и соответствующей паспортным данным.

Датчик TetraCon 700 IQ является промышленным датчиком УЭП. Калибровка промышленного датчика УЭП заключалась в установлении значения постоянной ячейки по известному значению проводимости раствора – 294,9 мкСм/см. Результаты измерений промышленного датчика TetraCon 700 IQ и лабораторного анализатора ЭКСПЕРТ-002 показали, что приведенные погрешности результатов не превышают допустимых значений [2], что свидетельствует о корректной работе датчика.

Датчик Ammolylt Plus 700 IQ это промышленный датчик ионов аммония, основанный на ионоселективных электродах. Калибровка данного промышленного датчика выполняется в два этапа [2]: *Electrode Zeroing* – обнуление электрода (здесь на растворе 20 мг/л), затем процедура *Matrix adjustment* – настройка в рабочей среде (здесь на растворах ГСО 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 20,0; 50,0; 100,0; 200,0; 300,0; 400,0 мг/л). Измерения выполнялись на растворе аммония хлористого с концентрацией ионов аммония 400 мг/л, поэтапно разбавленного до концентрации 0,5 мг/л. Из каждого раствора были отобраны образцы для химического анализа (ГОСТ 4192-82, п.3). Результаты измерений показали, что датчик показывает более точные результаты. Многократное измерение проб позволили оценить случайную составляющую погрешности измерений. Наибольший вклад внесен систематической составляющей погрешности измерений. По этой причине в дальнейшем необходимо провести измерения на растворах с использованием ГСО для установления реальной погрешности измерения ионов аммония химическим методом и датчиком, а также получения возможности объективного сравнения этих значений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SensoLyt 700 IQ. Manual. – Germany, Weilheim: Dr.-Karl-Slevogt-Strabe 1, 2007. – 44 с.
2. TetraCon 700 IQ. Manual. – Germany, Weilheim: Dr.-Karl-Slevogt-Strabe 1, 2002. – 32 с.
3. Ammolylt Plus 700 IQ. Manual. – Germany, Weilheim: Dr.-Karl-Slevogt-Strabe 1, 2014. – 64 с.

#### РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СИСТЕМЫ «ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»

Т.С. Черняева, А.Н. Пушинская, Ю.А. Чурсин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [tanushka\\_life@mail.ru](mailto:tanushka_life@mail.ru)

Разработанная структурная схема учебно-лабораторного стенда по исследованию системы «частотный преобразователь – асинхронный двигатель» приведена на рисунке 1. Согласно схеме, управление асинхронным двигателем осуществляется с помощью частотного преобразователя. Таким образом, исполнительным механизмом является частотный преобразователь на вход, которого подается управляющий сигнал. Данный сигнал задается оператором с компьютера в режиме реального времени, после чего сигнал преобразовывается через RS232/RS485 по протоколу Modbus RTU и попадает на вход частотного преобразователя. Возмущающим

воздействием для объекта управления является двигатель постоянного тока, который управляется широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) сигнала. Вход отладочной платы Stm32L-DISCOVERY – это сигнал в виде коэффициента заполнения ШИМ, заданным оператором компьютера, в режиме реального времени. ШИМ сигнал, после отладочной платы, попадает на схему управления нагрузки двигателя, которая непосредственно управляет двигателем постоянного тока. Обратной связью стенда являются – обороты асинхронного двигателя. Обороты считываются датчиком угла поворота и передаются в виде импульсов на отладочную плату Stm32L-DISCOVERY. Сигнал со схемы измерения нагрузки двигателем, также подаются на отладочную плату. Данные углового энкодера и схемы измерения хранятся в Stm32L до тех пор, пока оператор не запросит их.

В результате разработан стенд обучения студентов для настройки системы управления асинхронным двигателем, который позволяет получить практические навыки в работе с данным устройством.

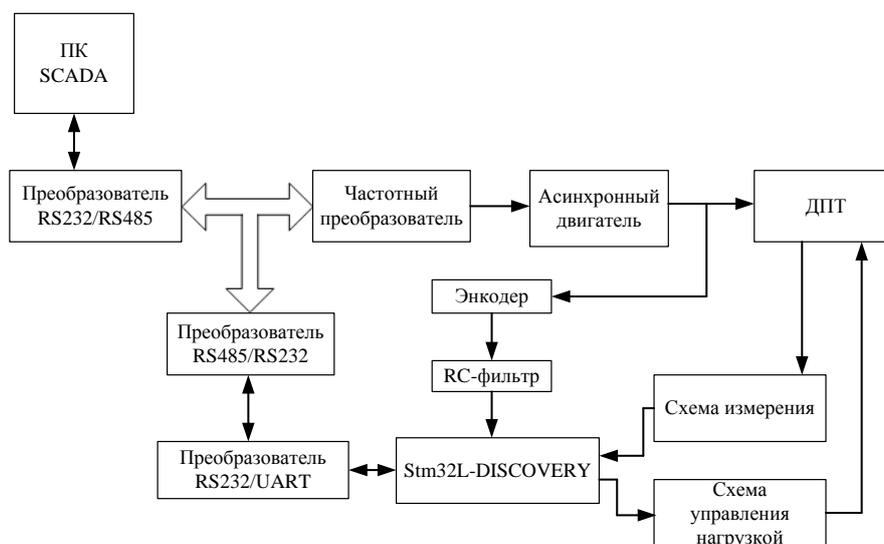


Рисунок 1. Структурная схема учебно-лабораторного стенда

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кацман М.М. Электрические машины: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф образования. – 7-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 496 с.
2. Дядик В.Ф. Теория автоматического управления / В.Ф. Дядик, С.А. Байдали, Н.С. Криницын; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.
3. Титце У. Полупроводниковая схемотехника. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
4. Токарева В.В. Силовые полупроводниковые приборы. – Воронеж: 1-е издание, 1995. – 606 с.
5. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 265 с.
6. Техническое описание преобразователя интерфейсов «ОВЕН АС3-М» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.owen.ru/uploads/as3-m.pdf>.

#### РАЗРАБОТКА ПРОТОКОЛА И ФОРМАТА ДАННЫХ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Д.М. Шумаев, А.В. Обходский

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [shumaevdmit@gmail.com](mailto:shumaevdmit@gmail.com)

Разработка программного обеспечения для моделирования материалов является комплексным и наукоемким процессом, в ходе которого рассматривается и решается большое количество разнообразных задач.

Одной из таких задач является исследование и разработка программно-алгоритмического взаимодействия компонентов, входящих в состав программного комплекса (ПК).

Большое значение отводится унификации всех взаимодействующих компонентов ПК, что в свою очередь позволит обеспечить заданный функционал и относительную простоту реализации.

Основными компонентами ПК являются: система хранения данных (СХД), система обработки данных (СОД) и клиентское приложение. Для реализации компонентов в роли брокера вычислительных ресурсов применяется ПО Globus Toolkit, а в качестве СУБД ПО PostgreSQL. В ПК заложена возможность обработки данных как ресурсами доступными в локальной сети, так и внешними ресурсами Grid-сети [1]. Основная часть вычислительной нагрузки комплекса обрабатывается ресурсами на графических ускорителях GPU, которые по быстродействию в несколько десятков раз превосходят потоковые на CPU. Для распараллеливания задач используется программно-аппаратная архитектура CUDA. При реализации экспериментального образца ПК моделирования материалов предложено использовать API интерфейс на базе системных служб операционных систем внешних вычислительных узлов. В роли транспортного файла выбран перспективный для применения в составе ПК моделирования материалов формат XML, со структурой файла идентичной структуре информационной базы [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение о предоставлении субсидии RFMEFI57814X0095 от 28.11.2014 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yunhong Gu, Robert L. Grossman, UDT: an application level transport protocol for grid computing, in: PFLDNet 2004, The Second International Workshop on Protocols for Fast Long-Distance Networks, Chicago, IL, USA, 13–14 February 2004.
2. Snoeren A. Mesh-based content routing using XML / A. Snoeren, K. Conley, D. Gifford // Operating System Review. 2001. Vol. 5, No. 35. Banff: ACM. P. 160–173.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СТАНДАРТОВ СВЯЗИ

И.Д. Щербаков, В.А. Курочкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [taraz1995@mail.ru](mailto:taraz1995@mail.ru)

Беспроводные сети имеют множество достоинств: они проще в установке и модификации, мобильны. Зачастую, трудовой режим на предприятии и планировка производственных помещений не позволяет производить прокладку кабельного соединения, или же приводит к большим финансовым затратам на перепланировку и последующую остановку деятельности предприятия для проведения работ по обеспечению непрерывного сообщения между цехами. Кроме того, проводное соединение обладает низкой эргономичностью и энергоэффективностью, что опять же повлечет за собою дополнительные затраты во время его функционирования. Но не смотря на все это, также имеется ряд недостатков: помехи при передачи данных, отражение сигнала, неравномерное распределение интенсивности сигнала, загруженность частот, неполносвязность беспроводной сети – все это доставляет немалые трудности для надежного приема информации и приводит к проблемам доступа.

В данной работе проанализированы протоколы беспроводной передачи данных, в частности: ZigBee, Z-Wave, Bluetooth, BLE, High Rate WPAN, WiMedia, UWB, Wi-Fi, WRAN, hart, ONE-NET, Wireless USB, WiGig, LibertyLink, EnOcean, RONJA. Insteon, Wavenis.

Стоит отметить, что нет универсального протокола, применимого во всех сферах. В каждой области применения есть свои особенности, которые следует учитывать при выборе протокола. Для анализа были выделены основные сферы применения беспроводных протоколов передачи данных: система «Умный дом», производственные цеха и т.д. Для каждой сферы применения выделены значимые критерии выбора протокола, среди которых: диапазон рабочих частот, максимальная скорость передачи данных, радиус действия, энергопотребление, защищенность протокола, помехозащищенность, открытость протокола, сложность реализации, способность самоорганизовываться.

Проводя анализ различных областей, где возможно применение беспроводных протоколов, выделили следующие, общими критериями для большинства областей стала частота работы протокола, его помехоустойчивость, имеется ли он в открытом доступе, универсальность, вид сети.

Наиболее оптимальной сферой применения для протоколов High Rate WPAN, WiMedia, UWB служит замена кабелей аудио\видео систем. Плюсы данных протоколов - высокая скорость передачи данных и высокая степень автономности. Также, протокол UWB работает на менее загруженной частоте (3.1 – 10.6 ГГц).

Если же выбирать протокол для системы «Умный дом», то следует обратить внимание на протоколы ZigBee, Z-Wave. Основными преимуществами данных протоколов служит их энергосбережение, менее загруженный диапазон частот, размер сети и простота в обслуживании и модернизации. Также необходимо учесть помехозащищенность протокола, т.к. возможны помехи от оборудования.

Если рабочая площадь производственных цехов велика, а данные, необходимые для полноценного функционирования производства поступают с большого числа устройств, то наиболее оптимальным будет применение протоколов ZigBee и Z-Wave, т.к. данные сети являются самоорганизующимися сенсорными сетями ячеистого типа. Особенностью данных сетей является то, что они состоят из однородных элементов, каждый из которых выступает в роли независимого маршрутизатора, каждый узел может связаться с каждым другим узлом. Данные сети могут распространяться на несколько километров. В архитектуре данных сетей помимо возможности подключения датчиков, предусматривается наличие центрального узла управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. И. Колыбельников. Обзор технологий беспроводных сетей. 2002. Т.4 №2. С. 27-28.
2. Г.Ф. Гайкович. Обзор беспроводных технологий для современных мобильных устройств связи. Электронные компоненты. 2007. №1. С. 65.
3. Г.Ф. Гайкович. Стандартизация в области промышленных сетей. Развитие беспроводных стандартов для АСУ ТП. 2009. №1. С. 48.
4. А.С.Дмитриев, Е.В. Ефремова и др. Сверхширокополосная беспроводная связь и сенсорные сети. Радиотехника и электроника. 2008. Т. 53 №10. С.1278–1289.
5. Беспроводные технологии и их применение в промышленности. Передача речевой информации через WPAN [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/54063/>

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

# **ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В НАУКЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕДИЦИНЕ**

VII Международная научно-практическая конференция  
3 – 5 июня, 2015г, Томск

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ**