

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО РФ ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО РФ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



V Международная научно – практическая конференция

**ФИЗИКО – ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

**АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И**

**ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ



ТОМСК  
7-8 июня 2010



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО РФ ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО РФ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

**ФИЗИКО – ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

- Секция 1. Ядерные реакторы и топливные циклы.
- Секция 2. Прикладная ядерная физика, радиационная безопасность и нераспространение ядерно-опасных материалов.
- Секция 3. Химические технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов.
- Секция 4. Разделение изотопов, плазменные и ионообменные процессы.
- Секция 5. Информационные технологии и системы управления технологическими процессами.

Издательство  
Томского политехнического университета  
Томск, 2010

УДК 621  
Ф 48

Ф48 Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности: сборник тезисов докладов V Международной научно-практической конференции. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 198 с.

Сборник тезисов докладов включает материалы V Международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности». Конференция проводится на физико-техническом факультете Томского политехнического университета 7-8 июня 2010 г.

В сборник включены материалы по результатам современных исследований в области ядерного материаловедения, технологий ядерно-топливного цикла, радиационной безопасности, взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, химической технологии редких элементов, автоматизации химических и атомных производств, подготовке специалистов в области ядерных технологий и химической промышленности.

Для специалистов атомной и химической промышленности, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

УДК 621

### **Редакционная коллегия**

Власов В.А. – д.ф.-м.н., профессор, председатель редколлегии,  
Юшицин К.В. – к.ф.-м.н., доцент, заместитель председателя редколлегии,  
Дьяченко А.Н. – д.т.н., профессор, секретарь редколлегии,  
Егоров Н.Б. – к.х.н., доцент, секретарь редколлегии.

Шаманин И.В. - д.ф.-м.н., профессор, председатель секции 1.  
Потылицын А.П. - д.ф.-м.н., профессор, председатель секции 2.  
Гузеева Т.И. - д.т.н., профессор, председатель секции 3.  
Вергун А.П. - д.ф.-м.н., профессор, председатель секции 4.  
Ливенцов С.Н. - д.т.н., профессор, председатель секции 5.

Тезисы издаются в авторской редакции. Авторы несут полную ответственность за достоверность информации и возможность её опубликования в открытой печати.

## Оглавление

ФТФ – 60 ЛЕТ.....	20
В.И. Бойко, В.Ф. Дядик, Ф.П. Кошелев, К.В. Юшицин	
СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА.....	21
П.М. Гаврилов	
ДИНАМИКА СТРУИ ВСКИПАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ И ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ.....	22
Н.А. Мажейко, А.В. Решетников, В.П. Коверда, В.Н. Скоков	
ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА ИБР-2 .....	23
В.Д. Ананьев, А.В. Виноградов, Ю.Н. Пепельшев, А.Д. Рогов	
РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНЕЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ.....	24
К.О. Кручинин, Д.В. Карловец	
ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕТЛЕВОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА МИР.М1 .....	24
А.Л. Ижutow, В.А. Овчинников, С.В. Романовский, В.А. Свистунов, С.А.Киверов	
ВЛИЯНИЕ ПОЛЯ, НАКОПЛЕННОГО В СТЕНКЕ КАМЕРЫ ЗАРЯДА ПРИ ИНЖЕКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ, НА ПАРАМЕТРЫ ЧАСТИЦ, ЗАХВАЧЕННЫХ В УСКОРЕНИЕ В БЕТАТРОНЕ .....	25
Т.С. Иванилова, В.В. Кашковский	
МИРОВОЗРЕНЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ .....	26
А.Л. Плотников, М.К. Касымов, А.А. Веригин	
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ОДНОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ .....	27
А.А. Веригин, Е.В. Иванова, А.Л. Плотников, В.К. Струц	
АКТИВАЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНЫХ НЕЙТРОННЫХ ПОТОКОВ.....	28
Г.Н. Дудкин, Б.А. Нечаев, В.Н. Падалко	
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ИОННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ.....	29
Г.Н. Дудкин, Б.А. Нечаев, В.Н. Падалко	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БЫСТРЫХ И ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ.....	30
В.А. Варлачев, Е.Г. Емец, Е.С. Солодовников, А.Г. Пузыревич	
«НПВ»-ЭФФЕКТ И ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА (НА ПРИМЕРЕ РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР) .....	31
А.Б. Александров, А.В. Бабушкин, И.М. Белозеров, А.В. Волощук, А.И.Дробяз, И.И.Локтев, Ю.В. Островский	

ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УСКОРЕННЫХ 5,7 МЭВ ЭЛЕКТРОНОВ В МЯГКОМ РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ .....	32
А.С. Гоголев, В.Н. Забаев, А.П. Потылицын, С.В. Разин, Н.А. Тимченко, С.Р. Углов, С.И. Кузнецов	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА.....	33
Ю.А. Соловьев	
АНАЛИЗ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ КАНАЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧИХ СРЕД ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА.....	34
И.С. Вакуленко, Ю.А. Соловьев	
ИСТОЧНИК МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	35
Ю.Н. Адищев, А.Р. Вагнер, И.К. Васьковский, А.В. Вуколов, В.Л. Николаев, А.П. Потылицын, С.Р. Углов, В.Л. Чахлов, А.П. Шестак	
ПРОЕКТ КАНАЛА ДЛЯ НЕЙТРОНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕРИАЛОВ НА РЕАКТОРЕ ИРТ–Т НИИ ЯФ ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА .....	36
В.М. Головков, В.П. Кривобоков, Н.А. Тимченко, К. В. Юшицин	
РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ БЕТАТРОНА ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВОГО ИСТОЧНИКА МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	37
А.П. Шестак, И.К. Васьковский, Е.Л. Маликов, В.Л. Николаев, Г.Л. Чахлов	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД НА ОСНОВЕ МАЛОГАБАРИТНОГО БЕТАТРОНА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	38
Е.Л. Маликов, И.К. Васьковский, В.Л. Николаев, Г.Л. Чахлов, А.П. Шестак	
ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕАКТОРНОГО КОМПЛЕКСА РБТ-10 .....	39
А.Л. Ижутов, С.В. Романовский, В.А. Свистунов, С.А. Киверов	
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСКОРЕНИЯ ПОЗИТРОНОВ В ЦИКЛИЧЕСКОМ ИНДУКЦИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ – БЕТАТРОНЕ .....	40
В.В. Кашковский, В.И. Беспалов, В.Л. Чахлов	
ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЙЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	41
А.С. Гоголев, Ю.А. Попов, А.Р. Вагнер, А.П. Потылицын	
ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ, ЗАВИСШЕЙ В ТРАНСПОРТНОМ КОРИДОРЕ В МОМЕНТ ПОЛНОГО РАЗРУШЕНИЯ ОТСЕКАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА .....	42
К.Н. Беркутов, М.О. Шерин.	
ВЕРОЯТНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ ОТСЕКАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ПАРОГЕНЕРАТОРА (ПГВ-1000М).....	43
К.Н. Беркутов, М.О. Шерин	

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДОЗИМЕТРА НА ОСНОВЕ $KNO_3$ .....	44
О.И. Федотова, Л. Р. Меринова	
КОГЕРЕНТНОЕ ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КОРОТКИХ СГУСТКОВ ЭЛЕКТРОНОВ.....	45
С.Ю. Гоголев, А.П. Потылицин, Д.В. Карловец, Л.Г. Сухих	
ПОЛЯРИМЕТРИЯ ПУЧКА ЯДЕР $^3He$ В ЭЛЕКТРОН-ИОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ .....	46
И.В. Главанаков, Ю.Ф. Кречетов*, А.Н. Табаченко	
РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДНИХ И ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА УСКОРИТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ НЕСКОЛЬКО МэВ.....	47
В.И. Беспалов, Ю.Ф. Кречетов	
ОСНОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ. Ч. 1, ЭНТРОПИЯ .....	48
В.С. Дацко	
НУЖНА ЛИ СЕВЕРСКАЯ АЭС ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ .....	49
Ф.П. Кошелев, О.В. Селиваникова	
АТОМНЫЙ РЕНЕСАНС В МИРЕ И РОССИИ .....	50
Ф.П. Кошелев, О.В. Селиваникова, Н.О. Троценко	
ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ .....	51
Ф.П. Кошелев, О.В. Селиваникова, А.А. Валетов	
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ДЕЗАКТИВАЦИИ ЛОМА НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА .....	52
В.И. Бойко, Г.Н. Колпаков, В.А. Кузов, В.И. Хвостов, Е.Д. Кротов, Е.А. Окунев, А.Л.Павлов, И.С. Сеницын	
ВЛИЯНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПРОИЗРАСТАНИЯ И ВИДА СФАГНОВЫХ МХОВ НА СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	53
К.Ю. Рындюк	
ОСАЖДЕНИЕ СОДЕРЖАЩИХ Фуллерены Покровий Мощными Ионными Пучками .....	54
В.К. Струц, А.Л. Плотников, А.А. Веригин	
РТУТНАЯ ЛАМПА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	55
В.А. Колесников	
ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В РЕАКТОРНОМ ГРАФИТЕ .....	56
А.В. Головацкий, В.Н. Нестеров, И.В. Шаманин	
ГЕНЕРАЦИЯ ОСТРОФУКУСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ В НЕОДНОРОДНЫХ СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ .....	57
В.В. Каплин, С.Р. Углов	

ТЕСТОВАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ИВГ.1М.....	58
И.В. Прозорова	
ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ЭЛЕКТРОИНДУЦИРОВАННОМ ДРЕЙФЕ КАТИОНОВ ЦЕРИЯ И СВИНЦА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ СОЛЕЙ.....	59
И.В. Шаманин, И.В. Ломов, С.Ю. Долгополов, А.В. Иванов	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНОВ ВЫДЕРЖКИ РЕАКТОРНОГО ЗАВОДА ФГУП «ГХК» .....	60
Д.В. Жирников, М.В. Антоненко, Н.Н. Руцкий, И.В. Шаманин	
ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННОГО РАДОНА И ТОРОНА НА ПЛОТНОСТЬ ИОНИЗАЦИИ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ .....	61
Д.А. Плужникова, В.С. Яковлева, А.В. Вуколов, В.Д. Каратаев	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ УРАНА ХМЗ ОАО «СХК» ПО ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ СУММЫ АЛЬФА-ИЗЛУЧАЮЩИХ НУКЛИДОВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ.....	62
Е.Г. Генералова	
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ.....	63
О.А. Башуцкая	
ВОЗМУЩЕНИЕ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ ГРОЗОВЫМИ ФРОНТАМИ.....	64
Нагорский П. М., Ипполитов И. И., Кабанов М. В., Каратаев В. Д., Смирнов С. В., Яковлева В. С., Вуколов А.В., Попов А.В.	
О КОРРЕКТИРОВКЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПЕРВОГО КОНТУРА РЕАКТОРОВ ТИПА «ВВЭР» .....	65
А.Б.Александров, А.В.Бабушкин, И.М.Белозеров, А.В.Волощук, В.Г.Крицкий, А.Г.Лях, Н.З.Ляхов, Э.П.Магомедбеков, Е.П.Муратов, В.И.Потапенко, А.А.Семёнов	
АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ .....	66
С.П. Вавилов, К.Б. Шерматов	
АНАЛИЗ УГРОЗ РЕЖИМУ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ В НОВЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВАХ, НА ПРИМЕРЕ УКРАИНЫ .....	67
Д.А. Седнев	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЙ ИЗОТОПОВ РАДОНА И ПРОДУКТОВ ИХ РАСПАДА.....	68
Я.В. Лужанчук, В.С. Яковлева, А.В. Вуколов	
ПЛАН КОНВЕРСИИ РЕАКТОРА ВВР-К НА НИЗКООБОГАЩЕННОЕ ТОПЛИВО...	69
Ф.М. Аринкин, Ш.Х. Гизатулин, А.Ж. Тулеушев, П.В. Чакров	
УДЕЛЬНЫЕ АКТИВНОСТИ $\text{Th}^{232}$ , $\text{Ra}^{226}$ , $\text{K}^{40}$ , $\text{Cs}^{137}$ ВО МХАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ.....	70
Н.К. Рыжакова, Н.С. Рогова	



МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ПУЧКОВ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ В ВОДНОМ ФАНТОМЕ С ПОМОЩЬЮ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ GAFCHROMIC EBT .....	71
А.Р. Вагнер, Е.С. Куликова	
ОЦЕНКА ВКЛАДА РАДИОНУКЛИДОВ РЕАКТОРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В РАДИАЦИОННУЮ ОБСТАНОВКУ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО УРАНА НА ОАО «НЗХК» .....	72
М.Н. Черномордов, Ю.В. Ткачев, С.В. Степанов	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРЫ И ЛИТОСФЕРЫ НА ВЕЛИЧИНУ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДОНА И ТОРОНА С ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ .....	73
В.С. Яковлева	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА РАДОНА, ТОРОНА И ПРОДУКТОВ ИХ РАСПАДА В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ.....	74
В.С. Яковлева	
ТЕРРОРИЗМ В ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ (ЯТЦ).....	75
Ф.П. Кошелев, О.В. Селиваникова, А.И. Ситдикова, А.А. Кушнеревич	
ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА РАДОНА ЧЕРЕЗ ПОЧВОГРУНТЫ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	76
Н.К. Рыжакова	
ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ В РАДИАЦИОННОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ .....	77
В.Л. Орлов, А.В. Орлов, М.А. Гумиров	
СОПОСТАВЛЕНИЕ ВКЛАДОВ РАДОНА И ТОРОНА В СУММАРНУЮ ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА АЛЬФА- И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЙ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ .....	78
А.В. Хамраева, В.С. Яковлева, А.В. Вуколов	
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НА ДИНАМИКУ РАДОНОВОГО ПОЛЯ .....	79
И.А. Привалова, В.С. Яковлева, П.М. Нагорский, А.В. Хамраева, Д.А. Плужникова, И.А. Куликова	
ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ РАДИЯ, ЦЕЗИЯ, ТРИТИЯ В ВОДОЕМЕ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС .....	80
И. А. Куликова, А. В. Шонохов	
ПРОЕКТ ХРАНИЛИЩА РАО НОВОГО ТИПА .....	81
М.Е. Тихоненко, Н.А. Мячин, О.Я. Мазина, К.А. Щукин	
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ МОДЕЛИ В НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ .....	82
А.А. Нестеренко	

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ Г.ТОМСКА С ПОМОЩЬЮ ЭПИФИТНЫХ МХОВ.....	83
А.Г. Чайка, Н.К. Рыжакова, Н.С. Рогова	
ЯДЕРНОЕ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ СТУДЕНТА ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА .....	84
Г.С. Зиновьев	
ФУНКЦИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В ВОЗДУХЕ, ФОРМИРУЮЩЕЙСЯ ПОЧВЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ .....	85
В.В. Зукау, В.Д. Каратаев, В.С. Яковлева	
ВЫСОТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ИОНИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ БЕТА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ ПОЧВЕННЫХ И АТМОСФЕРНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ .....	86
В.В. Зукау, В.С. Яковлева, В.Д. Каратаев, П.М. Нагорский	
ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОНУКЛИДА I-125 В ПЕТЛЕВОМ УСТРОЙСТВЕ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА .....	87
В.В. Зукау, Г.Г. Глухов, Ю.С. Масленников	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ И ПЕРЕНОСА В АТМОСФЕРУ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ ИЗ ЛИТОСФЕРЫ .....	88
А.В. Вуколов, И.И. Ипполитов, М.В. Кабанов, В.Д. Каратаев, П.М. Нагорский, С.В.Смирнов, В.С. Яковлева	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС «GEORADON-КАМ» ПО ИЗУЧЕНИЮ ПЕРЕНОСА РАДОНА И ТОРОНА НА КАМЧАТСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ.....	89
А.В. Вуколов, В.С. Яковлева, П.П. Фирстов, А.С. Зелинский	
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УРАНА, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ КОДА MGAU.....	90
М.Е. Силаев, Ю.В. Недбайло	
ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ФГУП «КОМБИНАТ «ЭЛЕКТРОХИМПРИБОР» .....	91
О.В. Соловьёва	
ПРОГНОЗ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В СВЯЗИ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ФЦП ПО ИНТЕНСИВНОМУ РАЗВИТИЮ АТОМНОГО ЭНЕРГОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ И СИБИРСКОГО РЕГИОНА ДО 2020 ГОДА .....	92
А.Н. Валяев	
ВНЕДРЕНИЕ НОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОСТРОНЦИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРОМЕТРА НА БАЗЕ ЖС-СЧЕТЧИКА «GUARDIAN 1414» НА СМОЛЕНСКОЙ АС.....	93
А.Д. Абаимов, Р.С. Галиев, В.А. Дудинская, И.М. Краснов	

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОГО ФОНА И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СЕЙСМИЧЕСКИ СПОКОЙНОМ РЕГИОНЕ .....	94
А.В. Вуколов, И.И. Ипполитов, М.В. Кабанов, В.Д. Каратаев, П.М. Нагорский, С.В.Смирнов, В.С. Яковлева	
АНТРОПОСОЦИОЯДЕРНЫЙ ДИСКУРС И ДУХОВНОЕ НАСЛЕДИЕ Ф.М. ДОСТОЕВСКОГО.....	95
Е.В. Комлева	
ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ АРМИР НА ФГУП «ГХК» .....	96
В.В. Мартынов	
ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ЯДЕРНОМУ ТЕРРОРИЗМУ .....	97
А.В. Годовых, Б.П. Степанов	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	98
А.В. Годовых, А.В. Овчинников, И.Ю. Рыков	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛИГОНА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ .....	99
А.В. Годовых, А.В. Зуева, А.И. Ситдикова	
НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА .....	100
Г.П. Хандорин	
МИКРОПУЗЫРЬКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ .....	101
Б.В. Бошнятов	
КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВОЛЬФРАМА МЕТОДОМ ГАЗОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ.....	102
В.В. Лазарчук, А.К. Ледовских, А.А. Матвеев, А.А. Галата, А.П.Мурлышев, В.С.Волчков, И.М. Синкин	
ВИСМУТ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНИКИ И МЕДИЦИНЫ .....	103
Ю.М. Юхин	
УТИЛИЗАЦИЯ УРАНА ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ.....	104
О.Б. Громов, В.Ю. Кольцов, П.И. Михеев, В.И. Никонов, А.Ю. Щеглов	
ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	105
А.В. Волощук, Ю.В. Островский	
О ПОДГОТОВКЕ РАБОТНИКОВ ДЛЯ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	106
А.Н. Деренок, А.З. Лускин, Н.А. Чулков	

ОБЕСФТОРИВАНИЕ ОБЕДНЕННОГО ГФУ НА УСТАНОВКЕ «W-ЭХЗ».....	107
А.В. Васильев, Р.У. Кулиев, А.Е. Прокопенко	
ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ МАКРОПОРИСТЫХ АНИОНИТОВ В ПРОЦЕССЕ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ИЗ ЦИАНИСТЫХ РАСТВОРОВ .....	108
А.С. Буйновский, П.Б. Молоков, А.С. Завалюев	
ЭКСТРАКЦИЯ ИНДИЯ ИЗ СЕРНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	109
И.Ю.Флейтлих, Г.Л.Пашков, Л.К.Никифорова, Н.А.Григорьева, Г.К.Кулмухамедов, А.М.Копанёв	
МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА .....	110
О.С. Андриенко, В.И. Сачков, М.А. Казарян, С.В. Турубаров	
ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ «СОЛНЕЧНОЙ» ЧИСТОТЫ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА ИЗ РАСПЛАВА СОЛЕЙ KF-NaF-LiF .....	111
С.А. Соковиков, В.П. Дмитриенко, О.И. Налесник, В.А. Казимиров, В.А. Карелин	
ОЧИСТКА УРАНА ОТ ТЕХНЕЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ АФФИНАЖА РЕГЕНЕРИРОВАННОГО УРАНА .....	112
Е.А. Каменев, С.Н. Круглов, В.В. Лазарчук	
ФТОРИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТОНКОМ ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ.....	113
О.С. Андриенко, В.И. Сачков, В.А. Яновский, М.Ф. Мингалимов, Е.В. Обходская	
О ВОЗМОЖНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА В УСЛОВИЯХ АДСОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННОГО РАВНОВЕСИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР .....	114
В.И. Сачков, М.А. Казарян, М.Ю. Просекин, И.Г. Просекина	
СЕРНОКИСЛОТНО-ХЛОРИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА И ПОСЛЕДУЮЩЕЕ ЕГО ВЫДЕЛЕНИЕ НА АНИОНИТАХ И АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЯХ .....	115
А.С. Буйновский, П.Б. Молоков	
ПОЛУЧЕНИЕ МЕЧЕНЫХ ТЕХНЕЦИЕМ-99М МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ НАНОКОЛЛОИДОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	116
П.С. Постников, М.Е. Трусова, Е.А. Нестеров, М.Л. Белянин, В.С. Скуридин, В.Д.Филимонов, А.С. Рогов, В.Л. Садкин	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ТЕХНЕЦИЯ-99М НА ОКСИДАХ АЛЮМИНИЯ .....	117
Скуридин В.С., Стасюк Е.С., Нестеров Е.А., Чибисов Е.В., Садкин В.Л., Рогов А.С., Ларионова Л.А., Нестерова Ю.В., Варламова Н.В.	
ВВЕДЕНИЕ РАДИОАКТИВНОЙ МЕТКИ ТЕХНЕЦИЯ-99М В СТРУКТУРУ АНТИБИОТИКА.....	118
Н.В. Варламова, В.С. Скуридин, Е.А. Нестеров	

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОКСАЛАТА НЕОДИМА .....	119
А.Ю. Водянкин, И.И. Жерин, Т.П. Морозова, А.Н. Страшко	
ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФТОРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	120
А.Н. Дьяченко, А.Д. Киселев, Р.И. Крайденко	
ПРОИЗВОДСТВО СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ В ОАО «ПО ЭХЗ» .....	121
С.В. Филимонов, Г.М. Скорынин, Д.В. Тимофеев, А.Н. Гилёв, Д.Б. Кононов, О.А. Морозов	
СЕРНОКИСЛОТНОЕ ОБЕЗМЕЖИВАНИЕ МЕДНО-ЗОЛОТЫХ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ.....	122
А.А. Маслов	
ФТОРПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	123
А.А. Андреев, А.С. Кантаев	
ДЕЗАКТИВАЦИЯ ОБРАЗЦОВ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УРАН- ГРАФИТОВЫХ РЕАКТОРОВ В ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СРЕДАХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЯХ .....	124
И.Д. Брус, Н.С.Тураев	
О МЕХАНИЗМЕ УДАЛЕНИЯ $\beta$ - и $\gamma$ - АКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ПЕРВОГО КОНТУРА ПРОМЫШЛЕННОГО УРАН-ГРАФИТОВОГО РЕАКТОРА .....	125
И.Д. Брус, Н.С.Тураев	
ГИДРОКСИАПАТИТ – МАТЕРИАЛ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	126
О.А. Лелюк, А.С. Крикуненко, Л.А. Леонова	
ТИОСУЛЬФАТНО-ЦИАНИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА ИЗ БИООКСИСЛЕННОГО ФЛОТОКОНЦЕНТРАТА .....	127
Г.В. Саенко	
ПЛАМЕННОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ УРАНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ .....	128
Ю.В. Островский, А.Л. Хлытин, А.Ю. Островский	
ФТОРИДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЧИСТЫХ ВОЛЬФРАМОВЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	129
В.И. Выбыванец, В.В. Косухин, А.В. Черенков, Г.С. Шилкин	
КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ .....	130
М.А. Финк	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ $KBrF_4$ МЕТОДОМ ФТОРИРОВАНИЯ БРОМИДА КАЛИЯ.....	131
Р.В. Оствальд, В.В. Шагалов, Р.М. Власевский, С.И. Ивлев, И.И. Жерин	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ШНЕКОВОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕТРАФТОРОБРОМАТА КАЛИЯ .....	132
Р.В. Оствальд, В.В. Шагалов, А.М. Токарев, В.И. Соболев, И.И. Жерин	

ФТОРИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИРИДИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФТОРОКИСЛИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТРИФТОРИДА БРОМА.....	133
В.В. Шагалов, В.И. Зюбанова, Е.В. Гребенюк, Р.В. Оствальд, И.И. Жерин	
ПЕРЕРАБОТКА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕТРАФТОРОБРОМАТА КАЛИЯ.....	134
В.В. Шагалов, К.В. Бобровская, А.М. Токарев, Р.В. Оствальд, И.И. Жерин	
АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ К ОЦЕНКЕ ИЗОТОПНЫХ СДВИГОВ СЕРЫ И СВИНЦА В СПЕКТРАХ РАМАНА....	135
О.С. Андриенко, Н.Б. Егоров, И.И. Жерин, О.Х. Полещук, Э.Д. Цыденова	
ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ АДАПТАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕОЛИТНОГО ПРОИЗВОДСТВА. ОСВОЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОАО «НЗХК» .....	136
А.И. Терентьев, А.Л. Хлытин, А.В. Восьмериков, Н.А. Юркин	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕАЛКИЛИРОВАНИЯ ТЕТРАМЕТИЛСВИНЦА.....	137
О.С. Андриенко, Н.Б. Егоров, И.И. Жерин, Д.В. Индык, Э.Д. Цыденова	
СИНТЕЗ ЧАСТИЦ СВИНЦА В РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ.....	138
О.С. Андриенко, Н.Б. Егоров, И.И. Жерин, В.Ф. Усов	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НЕОДИМА ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ФТОРИДНО-ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ .....	139
В.А. Гребнев	
НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА КАРБОГИДРАЗИДА В АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ .....	140
В.Н. Алексеенко, С.Н. Алексеенко, В.В. Бондин, С.И. Бычков, К.Н. Двоглазов, В.И. Марченко	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МАЛОВОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАСТВОРЕНИЯ ОЯТ ВВЭР-1000 И ОСВЕЩЕНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ .....	141
И.Г. Ефремов, В.В. Бондин, С.И. Бычков	
ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ДИСТАНЦИОННО-ОБСЛУЖИВАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОЛОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ.....	142
И.Г. Ефремов, В.В. Бондин, С.И. Бычков	
РАЗРАБОТКА МАЛООТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЕЗАКТИВАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРОИНЖЕКЦИОННОГО МЕТОДА И ДЕЗАКТИВАЦИИ В СРЕДЕ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ .....	143
И.Г. Ефремов, В.В. Бондин, С.И. Бычков	
ПРОИЗВОДСТВО БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ.....	144
А.А. Руденко, В.И. Верещагин, А.С. Ситников, О.Л. Васильева, В.В. Пронин, А.А. Кропочев	

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОТРАБОТАННОЙ ЭКСТРАКЦИОННОЙ СМЕСИ, НА ОСНОВЕ ТЯЖЁЛОГО РАЗБАВИТЕЛЯ (ТБФ-ГХБД) МЕТОДОМ УДАЛЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫЙ ПЛАСТ-КОЛЛЕКТОР .....	145
С.И. Бычков, Д.М. Крючек, И.Е. Поляков, С.И. Смирнов	
ПРОДУКЦИЯ «ЭКАН» - ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ФТОРАНГИДРИТА .....	146
Ю.М. Федорчук, Т.С. Цыганкова, А.А. Волков	
УДАЛЕНИЕ ФТОРА ИЗ БЕРТРАНДИТ-ФЕНАКИТ-ФЛЮОРИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ЕРМАКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....	147
А.Н. Борсук, А.Ю. Водянкин, И.И. Жерин, А.С. Толстикова, С.Ю. Толстиков	
УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ДРУГИХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ... 148	
В.И. Мазин, Е.В.Мазин	
ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДА ЛИТИЯ ИЗ КАРБОНАТА ЛИТИЯ .....	149
В.А. Емелькин, М.Г. Кталхерман, Б.А. Поздняков	
ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА РАДИОНУКЛИДОВ .....	150
А.Н. Скугорев, П.В. Зернаев, С.Н. Платонова, Г.Т. Кириллов	
РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЫ ВОЗБУЖДАЕМОЙ НАНОСЕКУНДНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ .....	151
В.И. Сачков, С.А. Сосновский	
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ ТРАСС ОТБОРНИКОВ ГЦ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ГЕПТАФТОРИДОМ ИОДА .....	152
В.Г. Афанасьев, В.В. Водолазских, В.И. Мазин, Е.В. Мартынов, М.И. Стерхов, Ю.Б.Торгунаков	
ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ОТХОДАМИ, ОБРАЗОВАВШИМИСЯ ПРИ ДЕМОНТАЖЕ ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОДИФфуЗИОННОГО ЗАВОДА. ДЕЗАКТИВАЦИЯ И СОРБЦИОННАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ .....	153
В.В. Водолазских, В.Г. Балахонов, С.Б. Лысак, В.А. Матюха, Е.В. Мартынов, В.И.Мазин, Ю.Б. Торгунаков	
ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ РЕАКТОР РАЗРЯДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ.....	154
С.Ю. Соковнин, М.Е. Балезин	
РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЧИСТКИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА ОТ МИКРОКОЛИЧЕСТВ ЛЕГКОЛЕТУЧИХ ПРИМЕСЕЙ .....	155
В.И. Мазин, П.В. Зернаев, Р.Л. Мазур, М.В. Чуканов, И.М. Васенин, Э.Р. Шрагер, А.Ю.Крайнов	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО ИСТОЧНИКА НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ С ЦЕЛЬЮ ВНЕДРЕНИЯ ЕГО В МЕДИЦИНУ .....	156
О.И. Денеко, А.Н. Алейник, О.С. Жданова, Е.В. Семичев	

РАЗРАБОТКА СМАЗКОУЛОВИТЕЛЯ ЦИКЛОННОГО ТИПА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ  
СОДЕРЖАНИЯ ПАРОВ ФТОРУГЛЕРОДНОЙ СМАЗКИ В ОТБОРНЫХ ПОТОКАХ  
ОЧИСТИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ ИЗ ДИФфуЗИОННЫХ МАШИН ..... 157

В.И. Мазин, П.В. Зернаев, А.В. Сигаило, О.В. Лядский, И.М. Васенин, Э.Р. Шрагер,  
А.Ю. Крайнов

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ  
КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА..... 158

А.А. Орлов, С.Н. Тимченко, В.Г. Бутов

ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА ..... 159

А.А. Орлов, С.Н. Тимченко, В.Г. Бутов

РАДИАЦИОННО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ  
ИЗОТОПА УРАНА-235 В ГФУ. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ НА ОАО «СХК»..... 160

В.В. Водолазских, В.Е. Горохов, В.М. Илюхин, В.И. Мазин, В.И. Рощупкин,  
В.И.Щелканов

СПОСОБ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ЗАГРУЗКИ ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ.  
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОАО «СХК» ..... 161

В.В. Водолазских, В.Е. Горохов, В.М. Илюхин, В.И. Мазин, В.И. Рощупкин,  
Р.В.Савицкий, В.И. Щелканов

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА ПО РАМАНОВСКОМУ  
РАССЕЯНИЮ РАСТВОРЕННОГО В ВОДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ..... 162

В.Ф. Мышкин, В.А. Хан, В.А. Борисов, Д.Л. Гамов, М.И. Хромяк, Е.В. Беспала

РАЗРАБОТКА ФОТОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ  
УГЛЕРОДА ..... 163

В.Ф. Мышкин, М.И. Хромяк, Е.В. Беспала, В.Н. Ленский

КРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ГАЛЛАМ ЩЕЛОЧНЫХ  
МЕТАЛЛОВ..... 164

В.А. Архипов, А.П. Березиков, Д.Г. Видяев

РАВНОВЕСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НА ГРАНИЦЕ ГАЛЛАМА – ВОДНЫЙ РАСТВОР 165

Д.Г. Видяев, В.А. Власов, Д.А. Ижойкин

О ХАРАКТЕРЕ ЗАТУХАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЛАЗМЕ  
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА ..... 166

Ю.Ю. Луценко, В.А. Власов

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАЗМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО  
ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА НА ЕГО ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ..... 167

Ю.Ю. Луценко, В.А. Власов

РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОНОПОЛЯРНЫХ ИОНИТОВ,  
СМЕШАННОГО СЛОЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО  
ОБРАЩЕНИЯ ПОТОКОВ ФАЗ ..... 168

А.А. Степанов, А.П. Вергун, А.В. Власов, В.С. Балашков



РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ В УСЛОВИЯХ СОВМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ И ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ .....	169
А.А. Степанов, А.П. Вергун	
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГИБКИХ ОБМЕННЫХ И ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ СИСТЕМ ИЗОТОПНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ .....	170
В.С. Балашков, А.П. Вергун	
ИЗМЕНЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ $Na^+$ И $K^+$ В ОСАДКАХ СОЛЕЙ ПРИ ИХ ФРАКЦИОННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ .....	171
А.Г. Белобаба, А.И. Маслий, А.А. Гусев, С.Н. Овчинникова	
ПЛАЗМЕННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ ОТХОДОВ .....	172
А.А. Каренгин, А.Г. Каренгин, А.Д. Побережников, А.В. Власов, П.В. Космачев, Р.С.Коротков	
РАСЧЕТ ПЛАЗМЕННОГО ГЕНЕРАТОРА ТЕПЛА .....	173
А.Д. Побережников, А.Г. Каренгин, А.А. Каренгин, А.В. Власов, П.В. Космачев, Р.С.Коротков	
РАЗРАБОТКА КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ГАЗОВ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ ПО ИХ СВЕЧЕНИЮ.....	174
С.Ф. Баландин, Д.Л. Гамов, В.Ф. Мышкин	
ДЕСОРБЦИЯ ГАЗОВ ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ И СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ .....	175
В.А. Власов, Д.В. Савостиков	
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – НАША ЦЕЛЬ .....	176
А.Д. Пархоменко, В.А. Сызранцев	
К ВОПРОСУ МНОГОРАКУРСНОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННИХ РАЗМЕРОВ ТВЭЛ .....	177
В.Г. Ефимов, М.С. Лихачев	
РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В РЕЭКСТРАКЦИОННОЙ КОЛОННЕ .....	178
А.А. Денисевич, Ю.А. Чурсин, С.С. Михалевич, Ш.П. Самусенко	
ЧЕЛОВЕЧЕСТВО. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. АВТОТРОФНОСТЬ (МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОСМЫСЛЕНИЕ) .....	179
А.Д. Московченко	
ЭЛЕМЕНТЫ СЕМИОТИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ В КУРСЕ «ИНФОРМАТИКА» .....	180
С.П. Вавилов, В.А. Силич, О.Б. Фофанов	
КОМПЛЕКСНОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ДОБЫЧЕ УРАНА СПОСОБОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ.....	181
М.Д. Носков, А.Д. Истомин, А.Г. Кеслер, С.Н. Носкова, А.А. Чеглоков	

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО НЕРАВНОВЕСНОГО ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА В КОЛОННОМ ЭКСТРАКТОРЕ .....	182
А.Г. Горюнов, Ю.А. Чурсин, С.С. Михалевич, Д.Г. Рогозный	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТРИФТОРМЕТАНСУЛЬФОФТОРИДА.....	183
А.Г. Горюнов, К.Б. Панов, Е.В. Савкина	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВА СТЕРЖНЕЙ-ОСНОВ УСТАНОВКИ ВОДОРОДНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ.....	184
Р.К. Лидовский, А.Г. Горюнов, К.А. Козин, С.А. Сачков	
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОТОКА ОРГАНИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КАСКАДА ЭКСТРАКЦИОННЫХ КОЛОНН С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖНЫМИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ.....	185
К.А. Иванов, А.Г. Горюнов, Э.Ю. Шенцов, В.И. Сухов	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СДВОЕННОЙ ЭКСТРАКЦИОННОЙ КОЛОННЫ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ.....	186
Д.Г. Рогозный, А.Г. Горюнов, Ю.А. Чурсин, С.С. Михалевич	
ЭКСПЕРТНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧНЫМ КОМПЛЕКСОМ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ .....	187
А.Д. Истомин, А.А. Чеглоков, М.Д. Носков	
СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ ГЕКСАФТОРИД УРАНА.....	188
А.В. Вильнина	
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ АППАРАТОВ ФТОРИРОВАНИЯ И УЛАВЛИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА .....	189
С.А. Байдали, В.Ф. Дядик, О.П. Савитский, Н.С. Криницын	
АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ SIEMENS-РЕАКТОРОМ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ.....	190
К.А. Козин, А.Г. Горюнов	
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТОКА	191
С.А. Сачков, К.А. Козин, А.Г. Горюнов	
НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРА, ОСНОВАННОГО НА КОСВЕННОМ МЕТОДЕ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА.....	192
Е.В. Ефремов, А.А. Каргин	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С МИШЕНЯМИ .	193
К.П. Артёмов, Г.А. Науменко, А.П. Потылицын, В.В. Рыжов, Л.Г. Сухих	

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА ПО ЕГО РЕАКЦИИ НА ПРОИЗВОЛЬНОЕ ВХОДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ .....	194
Н.С. Криницын, С.А. Байдали, В.Ф. Дядик	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА.....	195
О.В. Нагайцева, Н.В. Ливенцова, А.В. Белянин	
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ УРАНА.....	196
А.А.Чеглоков, А.Д. Истомина, М.Д. Носков	
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЗОННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ БРИДЖМЕНА.....	197
М.М. Филиппов, Ю.В. Бабушкин, В.Г. Гальченко, Г.Е. Шевелев, А.И. Грибенюков, В.Е.Гинсар	
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РЕГУЛИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НЕПРЕРЫВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПРОИЗВОДСТВА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА .....	198
Т.Х. Бадретдинов	
УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ УРАНА В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ НА БАЗЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т.....	199
Т.Х. Бадретдинов	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ В ПАКЕТЕ COMSOL MULTIPHYSICS. 200	
А.С. Огородников	
ЛАБОРАТОРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА «ХИМИК- АНАЛИТИК» НА АТОМНОЙ СТАНЦИИ С ВОДНО-ВОДЯНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ КАК ТИПОВОЕ ПРОЕКТНОЕ РЕШЕНИЕ .....	201
Е.С. Арестова, В.А. Брюханов, С.А. Галкин, М.Ю. Ткачева, А.Г. Терещенко, В.А.Терещенко, Р.Н. Сандаков, А.С. Сафьянов, А.Л. Юнак	
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	202
Т.С. Теровская, А.Г. Кеслер, М.Д. Носков	

## ФТФ – 60 ЛЕТ

В.И. Бойко, В.Ф. Дядик, Ф.П. Кошелев, К.В. Юшицин

Томский политехнический университет

60 лет назад в рамках реализации атомного проекта постановлением Правительства Советского Союза в Томском политехническом институте был открыт физико-технический факультет.

Физико-техническое образование имеет ряд существенных отличий от классического технического (инженерного) образования. Эти отличия связаны с особенностями ядерных технологий:

- ✓ фундаментальные дисциплины в объёме классических университетов;
- ✓ единство образовательного и научного процессов;
- ✓ регулярные практикумы на новейшем оборудовании;
- ✓ специальная подготовка в области культуры безопасности;
- ✓ длительные практики и дипломирование;
- ✓ повышенная длительность обучения.

За 60 лет физико-технический факультет ТПУ подготовил более 8000 специалистов для атомной промышленности и энергетики. Практически во всех предприятиях и научных организациях атомной энергетической промышленности России и стран СНГ трудятся выпускники ФТФ ТПУ. Среди выпускников – известные в России и за рубежом ученые – основатели научных школ, академики и лауреаты Государственных премий, герои труда, руководители отраслей и крупных промышленных предприятий, научных учреждений и вузов страны.

Участие факультета в инновационной образовательной программе позволило создать инновационный научно-образовательный центр "Ядерные технологии и нераспространение ядерных материалов", закупить уникальное оборудование, издать десятки учебно-методических пособий по спецкурсам. Это позволяет на качественно новом высоком уровне вести подготовку специалистов для предприятий и организаций Росатома. Перспективы международного сотрудничества в образовательной деятельности связаны с организацией Сибирского образовательного центра по ядерным энергетическим технологиям. При этом планируется сотрудничество с университетами США, Германии и Франции. Ярким подтверждением эффективности работы физико-технического факультета ТПУ является высокий и с каждым годом возрастающий спрос на его выпускников.

В "модернизации "ядерного образования" мы ни в коем случае не должны расшатать его фундаментальную основу. Необходимо сохранить преемственность и лучшие традиции системы физико-технического образования. Интенсивно возрастающий интерес к ядерной энергетике в России и во всем мире позволяет надеяться на перспективность развития ядерно-энергетического направления в ТПУ.

## СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

П.М. Гаврилов

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Горно-химический комбинат»

Комбинат предназначался для наработки в промышленных уран-графитовых реакторах оружейного плутония и его выделения на радиохимическом заводе.

Основные объекты по наработке оружейного плутония расположены в подземных условиях - в скальных горных выработках.

15 апреля 2010 года остановлен последний из промышленных уран-графитовых реакторов - реактор АДЭ-2, отработавший более 46 лет.

В условиях прекращения оборонной деятельности Горнохимический комбинат перспективы своего развития связывает с решением главной задачи - сохранение и развитие комбината как мощного предприятия ядерного топливного цикла федерального значения, осуществляющего заключительную стадию, связанную с обращением с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ).

Главная задача реализуется по следующим направлениям:

Транспортирование и хранение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) с атомных станций России, Украины и Болгарии в водоохлаждаемом хранилище.

Расширение объема услуг по хранению ОЯТ путем строительства воздухоохлаждаемого хранилища вместимостью до 38000т.

Создание опытно-демонстрационного центра по отработке инновационных технологий переработки ОЯТ производительностью до 100 т/год.

Создание топливного комплекса по производству гранулята МОКС-топлива для реакторной установки БН-800.

В январе 2010г. в г.Железногорске проведена секция Конгресса по атомной энергетике - конференция «Сибирь атомная. XXI век».

Конференцией рекомендовано рассматривать ФГУП «ГХК» в качестве базового предприятия для реализации пилотных проектов и продвижения ядерно - энергетических установок малой и средней мощности на коммерческий рынок.

На ГХК рассматривается возможность по реализации на его промышленной площадке проекта реакторной установки ВБЭР-300.

Проект ВБЭР-300 базируется на опыте судового реакторостроения, отвечает современным требованиям по безопасности и имеет высокую степень готовности к реализации.

## ДИНАМИКА СТРУИ ВСКИПАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ И ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Н.А. Мажейко, А.В. Решетников, В.П. Коверда, В.Н. Скоков

Институт теплофизики УрО РАН, г. Екатеринбург

E-mail: nikma@itp.uran.ru

Актуальность изучения струй перегретой жидкости связана с проблемой безопасности эксплуатации атомных станций, где используется теплоноситель с параметрами близкими к параметрам термодинамической критической точки. При возможных аварийных ситуациях с образованием течи в тракте теплоносителя возможна реализация условий взрывообразного вскипания на центрах флуктуационной природы [1]. Взрывное вскипание в потоке приводит к смене режимов течения от гидравлического к критическому. Наличие критических тепловых нагрузок в контуре теплоносителя требует изучения, как средних теплофизических параметров в процессах истечения, так и флуктуационных отклонений от них.

Экспериментально обнаружено кризисное поведение интегральных характеристик струи перегретой воды – расхода, формы, реактивной отдачи и исследована динамика флуктуаций при истечении струй перегретой жидкости из сосуда высокого давления. Установлено, что спектр мощности флуктуаций при взрывном вскипании изменяется обратно пропорционально частоте (фликкер-шум). Обратная пропорциональность частоте показывает, что значительная часть энергии флуктуаций связана с очень медленными процессами и, кроме того, означает возможность больших выбросов в системе.

Высокоэнергетичные низкочастотные пульсации ( $1/f$ -флуктуации), обнаружены в струе воды не только в лабораторных опытах, но и в промышленном аппарате: в испарительном модуле парогенератора с натриевым обогревом на энергоблоке БН-600 Белоярской АЭС. Возможность возникновения  $1/f$ -пульсаций следует учитывать при прогнозировании энергонапряженных процессов различной природы: при интенсификации процессов теплообмена; при конструировании и эксплуатации энергетического оборудования атомных станций; при анализе возможных последствий аварийной разгерметизации аппаратов и трубопроводов с горячей жидкостью.

### Список литературы

1. Скрипов В.П. Метастабильная жидкость. М.: Наука, 1972. 312 с.

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА ИБР-2

В.Д. Ананьев, А.В. Виноградов, Ю.Н. Пепельшев, А.Д. Рогов

Лаборатория нейтронной физики им. И.М.Франка  
Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна

ИБР-2 - это быстрый импульсный реактор периодического действия. Его главное отличие от других реакторов состоит в механической модуляции реактивности с помощью подвижного отражателя (ПО). Подвижный отражатель является сложной механической системой, с общей массой до 60 т, обеспечивающей надежную работу двух частей, определяющих модуляцию реактивности: основной подвижный отражатель (ОПО) и дополнительный подвижный отражатель (ДПО). Роторы ОПО и ДПО вращаются в противоположных направлениях с разными скоростями. В момент совмещения обоих отражателей у зоны реактора генерируется импульс мощности. Отражатели вращаются с помощью асинхронного двигателя и размещены в тонкостенном герметичном кожухе, заполненном гелием. Система охлаждения реактора трехконтурная и состоит из двух петель из соображений безопасности. Теплоносителем в первом и втором контурах охлаждения является жидкий натрий, в третьем - воздух. Циркуляция жидкого натрия обеспечивается электромагнитными насосами.

Быстрый импульсный реактор ИБР-2 безаварийно проработал 24 года. За эти годы регулярное использование реактора для физических экспериментов подтвердило его высокую эксплуатационную надежность и эффективность, как мощного нейтронного источника. После достаточно длительного периода успешной эксплуатации установленные проектом ресурсные ограничения были достигнуты к 2007 году. В этой связи разработана и осуществляется программа модернизации реактора. Физический пуск модернизированного реактора ИБР-2М планируется в конце 2010 года.

### Список литературы

1. Ананьев В.Д., Архипов В.А., Бабаев А.И., Булкин Ю.М., Бунин Б.Н., Дмитриев В.С., Доллежалъ Н.А., Едунов Л.В., Жирнов А.Д., Ломидзе В.Л., Лушиков В.И., Митяев Ю.И., Останевич Ю.М., Пепельшев Ю.Н., Рогов А.Д., Смирнов В.С., Франк И.М., Хрястов Н.А., Черкашов Ю.М., Шабалин Е.П., Язвицкий Ю.С. Физический пуск импульсного исследовательского реактора ИБР-2//Атомная энергия. 1979. Т. 46. Вып. 6.

2. Шабалин Е.П. Импульсные реакторы на быстрых нейтронах. М.: Атомиздат, 1976.

## РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНЕЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

К.О. Кручинин, Д.В. Карловец

Томский политехнический университет

В работе получено решение задачи о дифракционном излучении, возникающем при наклонном пролете заряженной частицы вблизи тонкого экрана конечных размеров, обладающего произвольной проводимостью и частотной дисперсией. Получены выражения для спектрально-угловой плотности излученной энергии в направлении «назад» и «вперед». Исследованы характеристики излучения в зависимости от действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости экрана. В частном случае перпендикулярного пролета полученные результаты совпадают с известными в литературе [1].

### Список литературы

Карловец Д.В., Потылицын А.П. // Письма в ЖЭТФ. 2009. Т. 90. С. 368.

## ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕТЛЕВОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА МИР.М1

А.Л. Ижутов, В.А. Овчинников, С.В. Романовский,  
В.А. Свистунов, С.А. Киверов

ОАО «ГНЦ НИИАР», Димитровград

Петлевой исследовательский реактор МИР.М1 номинальной мощности 100 МВт пущен в эксплуатацию в 1967 году. Основное инструментальное оснащение реактора – петлевые установки с различными видами теплоносителя, предназначенные для испытаний макетов твэлов, ТВС и других элементов активных зон перспективных реакторов.

В докладе приведены основные характеристики и результаты эксплуатации реактора, а также этапы усовершенствования и продления срока эксплуатации. Представлены современные программы экспериментальных работ и перспективы использования реактора.



## ВЛИЯНИЕ ПОЛЯ, НАКОПЛЕННОГО В СТЕНКЕ КАМЕРЫ ЗАРЯДА ПРИ ИНЖЕКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ, НА ПАРАМЕТРЫ ЧАСТИЦ, ЗАХВАЧЕННЫХ В УСКОРЕНИЕ В БЕТАТРОНЕ

Т.С. Иванилова, В.В. Кашковский

Томский политехнический университет

В работе приведены результаты моделирования процесса инжекции и захвата электронного пучка в ускорение в бетатроне типа МИБ-6 с азимутальной вариацией поля. Размеры ускорительной камеры с встроенным в неё инжектором соответствовали реальным условиям. Электроны из инжектора влетали в поле бетатрона с определенным разбросом по энергиям, координатам и углам вылета.

Моделирование захвата электронов в ускорение, показало, что в течение нарастания переднего фронта импульса инжекции происходит локальное накопление критической величины заряда электронов, не попавших в ускорение, в стенке ускорительной камеры и возникает электростатическое состояние материала стенки. В результате стохастического разряда накопленного заряда, электроны вытекают на проводящее покрытие камеры и создают локальное электрическое поле, которое способствует захвату вновь инжектированных электронов в ускорение.

После стохастического разряда, накопленного в стенке заряда, возникшее электрическое поле воздействует на приближающиеся к внутренней стенке камеры инжектированные электроны, и изменяют как величину энергии, так и направление движения частиц. В результате часть электронов пучка изменяет параметры траекторий своего движения, обходит инжектор и захватывается в ускорение.

Электроны, инжектируемые вблизи вершины импульса напряжения инжекции (длительностью 5 мкс, амплитудой 30 кВ), заполняют рабочий объем и образуют нестационарный ток с наибольшей плотностью вблизи боковой стенки и временем жизни частиц в пучке порядка  $\sim$  трех оборотов.

Захватывались в ускорение только те электроны, которые на первом обороте после вылета из инжектора двигались в сторону больших радиусов, а затем на последующих оборотах, после взаимодействия с полем заряда на внутренней стенке камеры, изменяли параметры своего движения и обходили инжектор. Средняя энергия электронов, захватываемых в ускорение равна  $E_{\text{инж}} \approx 29,3$  кэВ. Захват происходил вблизи вершины импульса напряжения инжекции в течение интервала времени, равном  $\sim 1,2$  мкс.

## МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

А.Л. Плотников, М.К. Касымов, А.А. Веригин

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

Одним из актуальнейших вопросов изучения общей физики является методика проведения вводного лекционного занятия. Чрезвычайно важно сообщить студентам не только о предмете, но и о современной физической картине Мира. Это, с одной стороны, расширит их кругозор, поможет сформировать современное физическое мировоззрение, а с другой – явится поводом повышения интереса к изучаемому предмету.

В основе современной физической картины Мира лежит единая теория поля (ЕТП), разработанная в конце XX века российскими физиками во главе с Г.И.Шиповым. Главным представлением ЕТП является понятие физического вакуума и торсионного поля. Физический вакуум представляется субстанцией с неограниченной энергией, из которой рождены все известные в нашем мире типы веществ (элементарные частицы, газы, жидкости и твердые тела), а также все известные физические поля, посредством которых осуществляются гравитационные, слабые, электромагнитные и сильные взаимодействия между телами. Торсионное поле является носителем информационного взаимодействия, которое объединяет в ЕТП все типы полей и веществ за счет поляризации вакуума. Воздействие на физический вакуум предполагает наличие первичного информационного поля, которое может быть порождено только Сверхсознанием. Таким образом, современная физическая теория доказывает необходимость Всеобщего Космического Разума, т.е. естественность Существования Бога. Созданием ЕТП технократические науки Запада, изучающие грубоматериальный мир, впервые вплотную приближены к эзотерическим наукам Востока, исследующим тонкоматериальный мир. Точно так, как наш четырехмерный материальный мир управляется не только своими, но и законами тонкоматериального многомерного мира, так и физическое тело человека является проявлением в нашем плотном мире его шести тонкоматериальных сущностей – эфирного, призрачного, астрального, ментального тел, а также тела души и тела духа. Немаловажно отметить, что информация из тонкоматериального мира (мысль) может влиять, а иногда активно влияет на процессы, явления и законы нашего плотного мира, т.е. мысль, порожденная левым или правым вращением торсионного поля, может нести как зло, так и добро, приводя либо к разрушению, либо к созиданию. Следовательно, наиболее созидательным воздействием на Мир является энергия Любви. Это соответствует Главному Космическому Закону и должно стать основой мировоззрения каждого человека.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ОДНОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

А.А. Веригин<sup>1</sup>, Е.В. Иванова<sup>2</sup>, А.Л. Плотников<sup>2</sup>, В.К. Струц<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ТОО «ТехноАналит», г.Усть-Каменогорск  
<sup>2</sup>ВКГТУ, г.Усть-Каменогорск, <sup>3</sup>ТПУ, г. Томск

Прогресс в области создания и технологического применения наноструктурных материалов вызывает необходимость в соответствующем развитии диагностических методов, работающих на пространственном масштабе в единицы нанометров.

При выборе метода, в первую очередь, обращалось внимание на то, что приходится иметь дело с ювелирными изделиями, а, следовательно, метод должен быть неразрушающим. Во-вторых, образцы для анализа имеют различную форму и размер. На выбор метода оказали влияние такие факторы как экономические затраты, простота выполнения измерений, время проведения анализа и т.д.

Всем перечисленным требованиям удовлетворяет энергодисперсионный рентгеноспектральный анализ.

По заказу Центра хранения ценностей Национального банка Республики Казахстан ТОО «ТехноАналит» был разработан и изготовлен энергодисперсионный спектрометр СРВ-1М для анализа ювелирных изделий. Разработанный спектрометр обладает следующими особенностями:

- Изменяемый диаметр падающего на образец пучка позволяет анализировать отдельные части ювелирного изделия, при этом «прицеливание» осуществляется при помощи лазерного луча.
- Устройство подачи образца под излучение делает возможным анализ изделий размером до 15 см любой формы.
- Использование полупроводникового кремниевого дрейфового детектора позволяет увеличить интенсивность анализирующего пучка, тем самым значительно повысив точность измерений за счет снижения статистической погрешности.
- В спектрометре для возбуждения излучения атомов пробы использовано два рентгеновских источника: низковольтный и высоковольтный. Применение низковольтного источника существенно понизило предел обнаружения легких элементов за счет их избирательного возбуждения.

Указанные особенности позволили разработать методику измерения толщин однослойных покрытий на ювелирных изделиях.

## АКТИВАЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНЫХ НЕЙТРОННЫХ ПОТОКОВ

Г.Н. Дудкин, Б.А. Нечаев, В.Н. Падалко

НИИ ядерной физики Томского политехнического университета

Для измерения интегрального нейтронного выхода из ядерных реакций традиционно применяются  $^3\text{He}$  детекторы тепловых нейтронов, имеющие высокую эффективность регистрации нейтронов [1]. В экспериментах на сильноточных импульсных ускорителях (ток и напряжение на нагрузке  $\sim\text{МА}$  и  $\sim\text{МВ}$ ) мощное рентгеновское излучение и электромагнитные наводки заставляют принимать дорогостоящие меры защиты электронной аппаратуры от электромагнитного и лучевого удара.

В данной работе рассматривается возможность использования активационного детектора для регистрации мощных нейтронных потоков  $> 10^6$  нейтронов в импульсе и практически нечувствительного к другим видам излучений. Разработана методика калибровки детектора с помощью изотопных источников нейтронов. Разработан и изготовлен автоматизированный комплекс детектора нейтронов.

Работа детектора основана на активации серебряной фольги нейтронами от источника и последующей регистрации счетчиком СБМ-19 интенсивности  $\beta^-$ -излучения при распаде изотопов серебра  $^{108}\text{Ag}$  и  $^{110}\text{Ag}$ .

Процедура калибровки состоит в облучении детектора изотопным нейтронным источником до достижения равновесия, когда скорость активации станет равной скорости распада. После удаления источника фиксируется спад интенсивности счета импульсов детектором и восстанавливаются параметры экспонент распада. Несложные расчеты позволяет получить значения абсолютной чувствительности детектора. В работе приведены результаты калибровки, полученные с помощью двух радиоактивных источников ( $^{241}\text{Am} + \text{Be}$  и  $^{252}\text{Cf}$ ), имеющих существенно различный энергетический спектр испускаемых нейтронов.

Активационный детектор состоит из детекторной части, предусилителя, частотомера и управляющего компьютера. Блок частотомера содержит счетчик импульсов, таймер, флеш-память на 1 Гб с микропроцессорным управлением. С компьютером частотомер общается через интерфейс Bluetooth. На компьютер может выводиться результат текущего измерения или любого сохраненного без прерывания процесса измерения. В программе верхнего уровня заложены алгоритмы обработки результатов калибровок и измерений.

### Список литературы

Борейко В.Ф. и др.  $^3\text{He}$  – детекторы в экспериментах на мощных импульсных ускорителях. Препринт ОИЯИ, Д15-2001-145. Дубна.

## СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ИОННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ

Г.Н. Дудкин, Б.А. Нечаев, В.Н. Падалко

НИИ ядерной физики Томского политехнического университета

Для экспериментов по измерению сечений и астрофизического  $S$ -фактора реакции  $d(d,n)^3\text{He}$  в области астрофизических энергий 2-12 кэВ на импульсном ускорителе ионов разработана серия сцинтилляционных детекторов нейтронов, обладающих рядом преимуществ по сравнению с  $^3\text{He}$  - детекторами. Результаты экспериментов с применением сцинтилляционных детекторов указывают на перспективность их использования и дальнейшего усовершенствования чему и посвящена данная работа.

Основная проблема – это малая амплитуда световой вспышки на фотокатоде фотоумножителей, при регистрации нейтронов с энергией 2.5 МэВ и, соответственно, требующийся низкий порог регистрации (~ 150 кэВ в электронном эквиваленте). От качества ФЭУ, в первую очередь, зависит стабильность работы детекторов. ФЭУ фирмы Philips - XP 2020 имеют большую амплитуду однофотонного импульса (до 200 мВ.) и высокое разрешение, что гарантирует стабильность пороговой характеристики в области малых амплитуд сигналов. Оптимизацией делителей напряжения ФЭУ достигнуты следующие параметры: разрешение однофотонного пика  $\Delta^{1/2}=39\%$ , отношение пик/впадина = 5, темновой счет (порог во впадине) = 40 Гц.

Для расчета абсолютной эффективности системы детекторов в рабочей конфигурации моделированием методом Монте-Карло, произведены измерения параметров детекторов. Измерены амплитудные спектры от источников:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и фона в единицах фотоэлектронов на фотокатоде ФЭУ. Позиционная неоднородность чувствительности детектора измерена двумя методами и не превышает 15 %.

Система регистрации, реализованная на основе цифровых осциллографов TDS-2024 под управлением компьютера, обеспечивает мгновенную визуализацию результатов сброса ионов на мишень и максимально возможную гибкость обработки этих результатов. Разработан простой алгоритм подсчета нейтронов с дискриминацией наложений из анализа осциллограмм цифрового осциллографа. Алгоритм отлаживался в рабочих сеансах измерений на импульсном ускорителе ионов. Количество наложений на предельных режимах может достигать 25%. Количество просчетов с использованием алгоритма не превышает 1%.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БЫСТРЫХ И ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

В.А. Варлачев, Е.Г. Емец, Е.С. Солодовников, А.Г. Пузыревич

НИИ ядерной физики Томского политехнического университета

При разработке и реализации радиационных технологий требуется осуществлять постоянный контроль флюенса тепловых и быстрых нейтронов. Для выполнения такого контроля предлагается использовать в качестве детекторов шайбы монокристаллического кремния.

Возможность осуществления предлагаемого способа измерения нейтронного потока подтверждается данными экспериментов, проведенных на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т мощностью 6 МВт. С помощью существующей с 1984 г. технологии нейтронно-трансмутационного легирования кремния были изготовлены шайбы монокристаллического кремния. Измерения удельного электрического сопротивления (у.э.с.) на торцах шайб проводилось 4-зондовым методом по 15 точкам с погрешностью 2%. Измерения выполнялись после облучения до отжига радиационных дефектов для определения флюенса быстрых нейтронов и после отжига радиационных дефектов для определения флюенса тепловых нейтронов. Контроль флюенса тепловых нейтронов проводили с помощью штатных камер деления КтВ-4. Эксперимент показал, что существует линейная зависимость между изменением проводимости и флюенсом тепловых нейтронов. Это позволяет осуществить калибровку детектора. Даже при единственном облучении шайбы с любым исходным у.э.с. Калибровка остается постоянной для измеряемого спектра нейтронов и не зависит от исходного у.э.с. Каждый кристалл можно использовать многократно, и в отличие от активационных детекторов физическая информация в монокристаллах кремния может сохраняться бесконечно долго, что позволяет в любой момент времени перепроверить полученный результат измерения. Достоинством этого метода является то, что одна и та же шайба содержит информацию как о флюенсе быстрых нейтронов, так, после отжига, и о флюенсе тепловых нейтронов.

### Список литературы

1. Варлачев В.А., Солодовников Е.С. Способ измерения флюенса быстрых нейтронов полупроводниковым детектором. Патент на изобретение № 2339975, опубликовано 27.11.2008. Бюл. №33.
2. Варлачев В.А., Солодовников Е.С. Способ измерения флюенса тепловых нейтронов детектором из монокристаллического кремния. Патент на изобретение № 2379713, опубликовано 20.01.2010. Бюл. №2.

## «НПВ»-ЭФФЕКТ И ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА (НА ПРИМЕРЕ РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР)

А.Б. Александров<sup>1</sup>, А.В. Бабушкин<sup>1</sup>, И.М. Белозеров<sup>2</sup>, А.В. Волощук<sup>2</sup>,  
А.И. Дробяз<sup>1</sup>, И.И. Локтев<sup>1</sup>, Ю.В. Островский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Новосибирский завод Химконцентратов»

<sup>2</sup>ОАО «Новосибирский «ВНИПИЭТ»

В свободном состоянии нейтрон «n»  $\beta$ -активен и разлагается с периодом полураспада  $T_{1/2}=13\div 16$  минут на протон «p» и электрон «e», выделяя при этом удельную энергию «Э» в количестве 0,785 Мэв ( $n\rightarrow p+e+\bar{\nu}$ ). С физхимической точки зрения «p» - это ион водорода «H<sup>+</sup>», который, нейтрализуясь, преобразуется сначала в атомарный («H»), а затем - в молекулярный водород («H<sub>2</sub>»). В любом из 3-х состояний этого «НПВ» - процесса водород взаимодействует с окружающей средой, вызывая соответствующие её изменения.

Весьма существенно значительное разуплотнение вещества, происходящее в «НПВ»- процессе, т.к. радиус «H<sup>+</sup>» в  $\approx 200$  тысяч раз больше радиуса «n» ( $1,54 \times 10^{-8}$  см и  $0,8 \times 10^{-13}$  см соответственно), а их объемные размеры различаются уже в  $\approx 7 \times 10^{15}$  раз. Такое преобразование нейтрона не может не отражаться на свойствах окружающих материалов.

Реакторы типа ВВЭР - это одни из основных аппаратов, в которых «живут» колоссальные потоки свободных нейтронов. Поэтому эффекты «НПВ» - процесса не могут не проявляться в активных зонах этих реакторов и вблизи их. В газовой среде - это, в частности, выделение водорода, чреватое образованием «гремучей смеси». В жидкой - это закисление воды 1-го контура, требующее постоянной корректировки «рН» среды. Наибольший (в основном, негативный) эффект от «НПВ» - процесса происходит в твердых материалах, «прозрачных» (как и жидкие) для нейтронов. По этой причине может происходить, в частности, гидрирование металлов, окислов и др. материалов; изменение геометрических размеров изделий («распухание» и т.п.); изменение отдельных механических свойств, обусловленное гомогенным водородным «легированием» металлов (сплавов) и др. Круг проявления «НПВ» - эффекта в ядерной технике представляется весьма обширным. Для получения положительного результата от учёта «НПВ» - эффекта и обеспечения конкурентных преимуществ для ГК «Росатом» в условиях международного рынка целесообразно создание специального коллектива исследователей (физиков, материаловедов, технологов и др.), обеспеченного необходимыми ресурсами.

## ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УСКОРЕННЫХ 5,7 МЭВ ЭЛЕКТРОНОВ В МЯГКОМ РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ

А.С. Гоголев, В.Н. Забаев, А.П. Потылицын, С.В. Разин,  
Н.А. Тимченко, С.Р. Углов, С.И. Кузнецов

Томский политехнический университет

Обратное переходное излучение (ОПИ) – это излучение, возникающее при падении заряженных частиц на поверхность, в направлении зеркального отражения траектории частиц от поверхности мишени. ОПИ в оптическом диапазоне хорошо исследовано и широко используется для диагностики поперечных профилей сгустков заряженных частиц современных ускорителей. Использование ОПИ с меньшей длиной волны позволит радикально улучшить пространственное разрешение подобных диагностических мониторов. Однако экспериментальных исследований процесса генерации ОПИ в области мягкого рентгена до последнего времени не проводилось. В данной работе предполагается исследовать ориентационные зависимости выхода фотонов ОПИ в оптическом и мягком рентгеновском диапазонах.

На пучке электронов микротрона с энергией 5,7 МэВ в вакуумной камере устанавливались мишени из различных материалов, представляющие собой тонкие полированные пластины толщиной 10 - 200 мкм, которые можно закреплять на поворачивающемся вокруг вертикальной оси штоке. При взаимодействии электронов с мишенью генерируется электромагнитное излучение, включающее несколько компонент. В области мягкого рентгена  $E < 1$  кэВ полный поток излучения включает вклады характеристического рентгеновского излучения (ХРИ), тормозного излучения (ТИ) и обратного переходного излучения (ОПИ), возникающего на границе поверхность мишени - вакуум. В оптическом диапазоне вкладом ХРИ и ТИ можно пренебречь.

В рентгеновской области в качестве детектора использовался вакуумный электронный умножитель ВЭУ-6, работающий в токовом режиме, установленный под углом  $60^\circ$  к направлению пучка электронов. Оптическое излучение регистрировалось фотокатодом ФЭУ-87 через прозрачный стеклянный фланец под углом  $90^\circ$ . Детекторы были окружены свинцовой защитой. Эксперимент заключался в измерении зависимости выхода фотонов в указанных диапазонах энергии от угла поворота мишени относительно падающего пучка электронов. Результаты нормированы на показания магнитоиндукционного датчика тока пучка и цилиндра Фарадея. Спектральная чувствительность ВЭУ-6 ограничивается областью  $\Delta E \sim (10 - 1000)$  эВ.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Ю.А. Соловьев

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ  
yusoloviev@mail.ru

Одним из фундаментальных процессов, наблюдающимся при взаимодействии ионизирующего излучения с веществом является радиационная электризация диэлектрических материалов. Особая актуальность накопления объемных зарядов обусловлена генерацией электромагнитных импульсов в окружающем пространстве вследствие развития электростатических разрядов в поле объемного разряда. Данный процесс ведет к нарушению электромагнитной совместимости электронных устройств. Наиболее характерными примерами проявлений проблемы ЭМС могут быть такие явления, как:

- отказы систем контроля и управления АЭС;
- отказы систем контроля и управления на производстве.

Эффективным способом определения параметров разрядных импульсов и соответствующих им откликов, наводимых в электрических цепях, является математическое моделирование.

Данная работа посвящена моделированию воздействия разрядных импульсов на электронные приборы. Для создания сигнала с параметрами, соответствующими реальным условиям, используются программный продукт MathCad и система автоматизированного проектирования электронных схем Multisim. Для исследования характеристик проектируемой схемы в условиях «реальных» сигналов и помех разрабатывается собственная модель сигнала. Затем данный сигнал используется в качестве источника сигналов из внешнего файла в системе компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств Multisim.

Приведены результаты исследований для конкретных условий формирования электростатических разрядов в условиях радиационной электризации. Показано, что при неблагоприятных условиях амплитуда помехового сигнала на сопротивлении нагрузки может достигать значений в несколько киловольт в диапазоне частот в несколько мегагерц.

Предлагаемая методология позволяет прогнозировать уровень помеховых сигналов на элементах цепи и разрабатывать методы предотвращения негативных последствий разрядных явлений.

## АНАЛИЗ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ КАНАЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧИХ СРЕД ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

И.С. Вакуленко, Ю.А. Соловьев

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

Создание высокоточных каналов преобразования температуры рабочих сред и плотности ядерно-энергетических установок затрудняется сложностью алгоритмов их проектирования, включающих итерационные и эвристические процедуры. В связи с этим актуальным является поиск относительно простых формализованных методик синтеза таких каналов систем управления ЯЭУ с повышенными требованиями по точности, а также отличающихся высоким уровнем унификации.

Цель работы заключается в анализе различных схмотехнических решений для высокоточного канала преобразования температуры рабочих сред ядерного реактора на основе подхода.

Рассмотрены этапы структурного и схмотехнического проектирования каналов преобразования температуры, построенных на основе термоэлектрических преобразователей. В общем случае такие каналы преобразования температуры наряду с термоэлектрическими преобразователями включают устройства компенсации влияния температуры свободных концов термопар, вторичные преобразователи, линии связи, а также программно-аппаратные средства логико-математической обработки информации.

Проведен анализ построения алгоритмов расчета параметров аппроксимирующих функций в математической компьютерной системе, и воспроизведения их для линеаризации характеристик термочувствительных элементов с повышенной точностью.

Программно-аппаратные средства термометрического канала должны обеспечивать формирование:

- аналоговых сигналов пропорциональных значениям преобразуемых температур в заданном диапазоне;
- сигналов неисправности при обесточивании вторичного преобразователя или обрыве его входных цепей;
- сигналов функционального контроля;
- расчет значения температуры на основе аналогового сигнала.

Для проверки работоспособности схем, рассчитанных в рамках анализируемого подхода, проведено моделирование в программе Multisim 10.1.

## ИСТОЧНИК МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ю.Н. Адищев, А.Р. Вагнер, И.К. Васьковский, А.В. Вуколов, В.Л. Николаев,  
А.П. Потылицын, С.Р. Углов, В.Л. Чахлов, А.П. Шестак

Томский политехнический университет

Актуальность проблемы обусловлена широким использованием рентгеновского излучения (РИ) в прикладных задачах, например, анализ структуры вещества, диагностика в медицине и др. Рентгеновские трубки широко используются для решения многих задач, но попытки монохроматизировать пучок излучения от рентгеновских трубок с помощью фильтров или монохроматоров приводят к уменьшению интенсивности пучка фотонов до уровня непригодного для диагностики. В работах [1-2] были получены результаты монохроматизации пучков тормозного излучения. В данной работе исследовалась возможность использования бетатрона для генерации монохроматического рентгеновского излучения на основе эффекта Брэгговской дифракции тормозного излучения на кристалле пиролитического графита. Максимальная энергия ускоренных электронов - 2,88 пДж. (18,0 МэВ); средний ток ускоренных электронов - 0,4 мкА; частота повторения циклов ускорения -  $150 \text{ с}^{-1}$ . Внутренняя мишень бетатрона – медная пластинка толщиной 7 мкм. Пучок тормозного излучения бетатрона падал под углом  $16,64^{\circ}$  на кристалл-монохроматор из пирографита толщиной 100 мкм с отражающей плоскостью (002). Спектр дифрагированного излучения измерялся под углом  $33,28^{\circ}$  к оси пучка полупроводниковым кремниевым спектрометром с энергетическим разрешением 250 эВ на линии 13,95 кэВ изотопа америций-241. В спектре наблюдались узкие максимумы, соответствующие четырем порядкам дифракции тормозного излучения [(002)=6,44кэВ; (004)=12,85кэВ; (006)=19,46кэВ;(008)=26,04кэВ)]. Ширина на полувысоте максимумов составляла 480эВ. Соотношение сигнал/фон более 60. Полученные результаты показывают принципиальную возможность создания монохроматического источника рентгеновского излучения на базе бетатрона.

### Список литературы

1. Danon Y., Sones B., Block R.C. Production and application of a novel, energy-tunable x-ray source at the RPI LINAC // Proceedings. CAARI. Fort Worth. Texas. 2006.
2. Забаев В.Н., Разин С.В., Углов С.Р. и др. Монохроматический рентгеновский источник, основанный на дифракции реальных и виртуальных фотонов в кристаллах. // Известия вузов. Физика. 2007. Т.50. № 10/3. С.139-146.

## ПРОЕКТ КАНАЛА ДЛЯ НЕЙТРОНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕРИАЛОВ НА РЕАКТОРЕ ИРТ–Т НИИ ЯФ ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

В.М. Головков, В.П. Кривобоков, Н.А. Тимченко, К. В. Юшицин

НИИ ядерной физики Томского политехнического университета  
Томский политехнический университет

Ядерный реактор ИРТ-Т, единственный исследовательский реактор в Сибирском и Дальневосточном регионах в настоящее время работает на мощности до 6 МВт. При этом достигается максимальная плотность потока тепловых нейтронов  $1,7 \cdot 10^{14}$  н/см<sup>2</sup> с. На нейтронных каналах реактора проводятся научные и прикладные исследования по следующим направлениям: нейтронно - активационный анализ конденсированных сред; разработка технологий и производство радиофармпрепаратов на основе короткоживущих изотопов технеция для медицинской диагностики; нейтронно - трансмутационное легирование слитков полупроводникового кремния диаметром до 5 дюймов и длиной до 700 мм с объемной неоднородностью облучения не хуже 5%.

Однако на реакторе нет каналов для нейтронографических исследований, которые позволяют в значительной степени дополнить информацию о структуре и свойствах материалов различной природы, получаемую в результате измерения рассеяния рентгеновского излучения или заряженных частиц. Поэтому предлагается на одном из горизонтальных каналов реактора ИРТ-Т создать современную станцию для структурных исследований материалов методом рассеяния нейтронов. Основой такой станции, ее ядром, в наилучшем варианте представляется двухосный многодетекторный нейтронный дифрактометр с диапазоном доступных межплоскостных расстояний  $0,095\text{nm} < d < 270\text{nm}$ , работающий в суперпозиционном режиме регистрации.

В результате реализации такого проекта на реакторе появятся новые возможности для исследований структуры и свойств широкого класса материалов и наносистем, которые значительно повысят качество междисциплинарных научных разработок, выполняемых в рамках Национальных проектов и Федеральных целевых программ в научных и производственных организациях Сибирского и Дальневосточного регионов.

## РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ БЕТАТРОНА ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВОГО ИСТОЧНИКА МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.П. Шестак, И.К. Васьковский, Е.Л. Маликов, В.Л. Николаев, Г.Л. Чахлов

НИИ Интроскопии Томского политехнического университета

Основной целью работы являлось создание экспериментального стенда на основе бетатрона на энергию 18 МэВ для исследования генерации тормозного и квазимонохроматического излучения циркулирующим пучком бетатрона в тонких аморфных и кристаллических мишенях в условиях кратного прохождения.

В ходе работы был разработан и собран источник тормозного рентгеновского излучения на основе бетатрона на энергию 18 МэВ с технико-эксплуатационными показателями: средний ток – 0,4 мкА; частота повторения импульсов сброса электронов на мишень – 150 Гц; диапазон энергий фотонов, регистрируемых измерительным трактом – от 10 до 100 кэВ; максимальная доза на расстоянии 1 м от излучателя – 157,2 мГр/мин;

### Список литературы

1. Kaplin V.V., Pivovarov Yu.L., Rozum E.I., Uglov S.R. Observation of large-angle coherent X-ray radiation of 5.7 MeV electrons from (002) mosaic pyrolytic graphite crystal // Pis'ma v ZhETF. 1995. Vol. 62. № 4. P. 270.
2. Каплин В.В., Углов С.Р., Булаев О.Ф., Чахлов Г.Л. Исследования генерации рентгеновского излучения быстрыми электронами в аморфных фольгах, кристаллах и периодических структурах на бетатроне Б-35 бетатронной лаборатории НИИ ИН // Международная научная конференция «Становление и развитие научных исследований в высшей школе» (сборник трудов), ТПУ 2009. Т. 1. С. 79.
3. Потылицын А.П., Вагнер А.Р., Адищев Ю.Н., Углов С.Р., Чахлов Г.Л., Чахлов В.Л. Многопроходная генерация тормозного излучения в бетатроне, как механизм повышения яркости источника монохроматического рентгеновского излучения // Международная научная конференция «Становление и развитие научных исследований в высшей школе» (сборник трудов), ТПУ 2009. Т. 1. С. 31.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД НА ОСНОВЕ МАЛОГАБАРИТНОГО БЕТАТРОНА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е.Л. Маликов, И.К. Васьковский, В.Л. Николаев, Г.Л. Чахлов, А.П. Шестак

НИИ Интроскопии Томского политехнического университета

В настоящее время коллективом лаб. 42 НИИ ИН совместно с кафедрой прикладной физики ФТФ планируется проведение исследований, связанных с созданием компактного источника монохроматического рентгеновского излучения на основе индукционного ускорителя электронов с использованием активных непоглощающих элементов рентгеновской оптики.

Актуальность данной задачи обусловлена широким использованием рентгеновского излучения (РИ) в прикладных задачах, например, диагностика в медицине, биологии, анализ структуры вещества и т.д.

При использовании существующих источников РИ возникает ряд трудностей например, в медицинской диагностике, где из-за низкого контраста не всегда удаётся выявить опухоль в организме человека на ранней стадии ее образования. Эту и другие проблемы можно решить, если использовать пучки монохроматического РИ. С этой целью был разработан экспериментальный стенд на основе индукционного ускорителя на энергию 4 МэВ, который включает: электромагнит, блок генератора импульсов питания, систему инжекции электронов, систему смещения электронов на мишень, систему управления. Для исследования генерации РИ бетатрон оснащен откачной ускорительной камерой. В ускорительной камере устанавливается мишень с возможностью её перемещения в радиальном направлении.

### Список литературы

1. Постановление №11 от 21.04.2006 «Об ограничении облучения населения при проведении рентгенологических медицинских исследований», [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.rosпотребнадзор.ru/documents/postanov/323/>, свободный.
2. Мкртчян А.Р., Навасардян М.А., Мирзоян В.К. Полная переброска рентгеновского излучения, дифрагированного монокристаллом от направления прохождения в направлении отражения под действием температурного градиента//Письма в ЖТФ. 1982. Т.8. В.11. С. 677-680.
3. XFEL project group, X-FEL Technical Design Report, DESY 2006-097, Germany.

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕАКТОРНОГО КОМПЛЕКСА РБТ-10

А.Л. Ижутов, С.В. Романовский, В.А. Свистунов, С.А. Киверов.

ОАО «ГНЦ НИИАР», Димитровград

В настоящей работе приведены основные характеристики, опыт эксплуатации и перспективы использования реакторного комплекса РБТ-10. Реакторный комплекс РБТ-10 включает в себя два аналогичных по конструкции и параметрам бассейновых водо-водяных реактора на тепловых нейтронах РБТ-10/1 и РБТ-10/2, размещенных в одном бассейне. В работе представлено краткое описание современных применений реактора РБТ-10/2, таких как: ядерное легирование кремния, радиационное окрашивание минералов, накопление радиоизотопов и перспективное направление развития реактора – наработка Мо-99.

В 2005 году было принято решение о выводе из эксплуатации реактора РБТ-10/1 с одновременной модернизацией реактора РБТ-10/2. Одним из направлений модернизации реактора РБТ-10/2 является усовершенствование системы охлаждения активной зоны с использованием теплообменного оборудования реактора РБТ-10/1, что в перспективе позволит увеличить мощность реактора РБТ-10/2 до 14 МВт.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСКОРЕНИЯ ПОЗИТРОНОВ В ЦИКЛИЧЕСКОМ ИНДУКЦИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ – БЕТАТРОНЕ

В.В. Кашковский, В.И. Беспалов, В.Л. Чахлов

Томский политехнический университет

В работе приведены результаты статистического моделирования процесса захвата позитронного пучка в ускорение в циклическом индукционном ускорителе – бетатроне, типа МИБ-6 с азимутально-однородным полем. Размеры ускорительной камеры соответствовали реальной конструкции камеры для ускорения электронов. В патрубке, где обычно находился инжектор электронов, размещали источник позитронов, выполненный в виде плоского диска, толщиной в несколько микрон.

В качестве источников позитронов, наиболее эффективными являются долгоживущие изотопы  $^{22}\text{Na}$  и  $^{44}\text{Ti}$ , с периодами полураспада 2,603 и 47,3 лет, соответственно, и которые имеют широкий энергетический спектр позитронов в диапазоне нескольких сотен кэВ. Технология изготовления этих радионуклидов хорошо отработана.

При моделировании позитроны из источника в виде плоского диска, размещенного вертикально на определенном радиусе в медианной плоскости ускорителя и перпендикулярно орбитам ускоряемых частиц, влетали в электромагнитное поле бетатрона с определенным разбросом по координатам, углам влета и энергиям, соответствующим энергетическому спектру радионуклидов. Моделирование движения частиц в поле ускорителя производили согласно методике, описанной в работе [1].

Моделирование захвата позитронов в ускорение, показало, что в течение нарастания переднего фронта импульса тока в намагничивающей обмотке электромагнита ускорителя происходит избирательное накопление заряда позитронов вблизи равновесной орбиты ускорителя.

В ускорение захватываются только те позитроны ( $\sim 1$  из 10000), которые в каждый момент времени, после многократного пересечения диска по его толщине с потерей некоторой части энергии [2], обладали энергией, не отличающейся более чем на  $\sim 10\%$  от энергии позитронов на орбите и с углами  $\alpha$  траекторий, близкими к углам частиц на орбите. Большая доля частиц, не захваченных в ускорение, выпадает на боковые стенки камеры.

### Список литературы

1. Кашковский В.В. Динамика и параметры электронных пучков бетатронов. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. 196 с.
2. Bespalov V.I., Kashkovsky V.V., Chakhlov V.L.// Nucl. Instr. And Meth. 2003. V.201. № 1. P. 292-299.



## ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.С. Гоголев, Ю.А. Попов, А.Р. Вагнер, А.П. Потылицын

Томский политехнический университет

В настоящее время все большее внимание уделяется малогабаритным источникам монохроматического рентгеновского излучения. Один из широко используемых способов получения монохроматического излучения – монохроматизация белого спектра тормозного излучения, последние несколько лет большой интерес проявляют к источникам на основе комптоновского рассеяния. Оба способа не лишены недостатков, в первом случае сталкиваются с проблемой больших потерь первичного пучка и за счет поглощения излучения монохроматором на интенсивных пучках происходит его перегрев и как следствие потеря заданных свойств, во втором случае установки обладают низкой частотой.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния акустического воздействия на процесс когерентного рассеяния рентгеновского излучения. Цель исследований – увеличение яркости монохроматических источников на основе монохроматизации излучения. В качестве монохроматора в экспериментах использовался кристалл кварца толщиной 0,5 мм X-среза. В монохроматоре возбуждались акустические стоячие волны, с частотой  $f = 5,46$  МГц, соответствующая первой моде, в симметричной геометрии Лауэ зарегистрировано увеличение интенсивности рефлекса (10-11) в 16 раз. Амплитуда напряжения переменного электрического поля, создающее акустическое возмущение, для максимального усиления составила величину 40 В.

На основе эффектов влияния акустических полей на процесс рассеяния могут быть построены новые активные элементы рентгеновской и нейтронной оптики.

## ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ, ЗАВИСШЕЙ В ТРАНСПОРТНОМ КОРИДОРЕ В МОМЕНТ ПОЛНОГО РАЗРУШЕНИЯ ОТСЕКАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

К.Н. Беркутов, М.О. Шерин.

Томский политехнический университет

В целях сокращения продолжительности ремонтных работ в период планово-предупредительного ремонта (ППР) на энергоблоках ВВЭР – 1000 с РУ В – 320, путем обеспечения одновременного проведения ремонтных профилактических работ на реакторе и парогенераторах (ПГ), было разработано решение о применении отсекающих устройств для парогенератора ПГВ – 1000 энергоблока №3 Калининской АЭС. Устройство отсекающее (УО) предназначено для отсечения первого контура парогенератора от главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) для одновременного проведения ремонтных и профилактических работ на парогенераторе и работ по перегрузке топлива.

Проведенный расчет изменения температуры оболочки ТВЭЛ, топлива и давления в тепловыделяющем элементе (ТВЭЛ) во время транспортировки тепловыделяющей сборки (ТВС) из активной зоны в бассейн выдержки в случае одновременного обесточивания АЭС и отрыва заглушки УО полным сечением показал, что:

1. При оголении верхнего участка топливной части перегружаемой ТВС в результате снижения уровня воды в шахтном объеме реактора, бассейне выдержки и бассейне перегрузки внутрикорпусных устройств в случае полного разрушения УО высота оголяемой топливной части не превышает 82 см. Оголенная топливная часть ТВС охлаждается воздухом, в то время как остальная часть находится в воде.

2. Максимальная температура оболочки оголенной части ТВЭЛ 82 см составляет 536 °С, достигается примерно через 1 ч 40 мин с момента разрушения УО и в дальнейшем не меняется. Анализ целостности оболочек ТВЭЛ при разогреве верхнего участка топливной части ТВС в случае ее зависания в транспортном положении в течении длительного времени (более 24 ч) показал, что целостность оболочек не нарушается.

### Список литературы

1. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М: Издательство МЭИ 1999. 160с.
2. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 2000. 455с.

## ВЕРОЯТНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ ОТСЕКАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ПАРОГЕНЕРАТОРА (ПГВ-1000М).

К.Н. Беркутов, М.О. Шерин

Томский политехнический университет

Одним из критериев повышения коэффициент использования установленной мощности является необходимость снижения сроков планово предупредительного ремонта, а также числа внеплановых остановов реактора. Возможным способом реализации снижения сроков планово предупредительного ремонта является совмещение длительных по времени ремонтных операций. Такое совмещение, в частности, возможно при проведении перегрузки топлива в реакторе и ведении плановых работ внутри коллектора первого контура парогенератора одновременно. Для этого предполагается использовать устройство отсекающее, первоначально разработанное в 2004 году ФГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС» для формирования герметичного объема в первом контуре парогенератора при проведении операций дезактивации внутренних поверхностей коллекторов и теплообменных труб парогенератора (ПГВ – 1000М). Из проведенных расчетов следует, что вероятность разрушения заглушки коллектора, приводящая к течи воды первого контура составляет  $8,08 \cdot 10^{-8}$  в год. Вероятность разрушения заглушки коллектора под действием давления и сейсмических нагрузок, приводящая к течи воды через горловину коллектора первого контура парогенератора на пол бокса и далее в транспортный коридор составляет менее  $10^{-7}$  в год. Малая величина отказа отсекающего устройства позволяет при расчете общей надежности рассматривать его как пассивный элемент с вероятностью безотказной работы равной единице. Расчет высоты водяного столба на полу бокса отметки +13,200 м ГО (гермообъем) показал, что вода первого контура, которая является радиоактивной, в случае разрушения заглушки коллектора не выйдет за пределы зоны контролируемого доступа, это значит, что радиационной аварии в случае разрушения заглушки коллектора не произойдет.

### Список литературы

1. Устройство отсекающее. Расчет теплогидравлический. Часть 1. Определение характеристик истечения теплоносителя через коллектор парогенератора 484 РР2, ЗАО «НПО Гидропресс», 2006.
2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) Госатомэнергонадзор. М: Энергоатомиздат, 1989. 525с.
3. Зверков В. В. Эксплуатация ядерного топлива на АЭС с ВВЭР. М: Энергоатомиздат, 1989. 96с.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДОЗИМЕТРА НА ОСНОВЕ $\text{KNO}_3$

О.И. Федотова, Л. Р. Меринова

Томский политехнический университет  
E – mail: liga\_little@sibmail.com

Успешное проведение экспериментов с использованием источников излучения зависит от правильного определения поглощенной дозы. Поглощенная доза может быть определена физическими или химическими методами. Под химическими методами дозиметрии ионизирующих излучений обычно понимают такие методы, которые основаны на определении химических изменений, происходящих в некоторых системах при их облучении[1].

Цель моей работы заключалась в исследовании возможностей использования химического дозиметра на основе нитрата калия для определения дозы ионизирующего излучения источника, работающего в Томском политехническом университете, в настоящее время. Для дозиметрии мною был выбран высокоточный импульсный ускоритель (НИИ ВН). Выбор  $\text{KNO}_3$  в качестве дозиметра обусловлен тем, что он удовлетворяет всем требованиям, предъявленным к химическим дозиметрам. Основной показатель – это радиационно-химический выход, который должен быть постоянным, достаточно высоким и не зависеть от вида излучения. При дозиметрии высокоточного импульсного ускорителя, ( $U_{\text{уск}}$  всего 220кВ) определяли расходимость пучка и его энергию. Для определения расходимости пучка облучение проводилось на разных расстояниях. В первом случае таблетки нитрата калия были расположены на расстоянии 80 мм, от входного окна, а во втором случае на расстоянии 30 мм, при одинаковом количестве импульсов. Полученные экспериментальные данные показывают, что на расстоянии 80 мм расходимость составила 19.6%. На расстоянии 30 мм от окна расходимость пучка составила 52.5%. Дозиметрию высокоточного импульсного ускорителя НИИ ВН проводили параллельно с помощью нитрата калия и ГОСТированных дозиметров (цилиндр Фарадея и калориметр). Энергия пучка, рассчитанная с помощью этих дозиметров, составила 10 Дж за импульс, а энергия пучка, полученная с помощью дозиметра на основе  $\text{KNO}_3$  составила 9 Дж, что совпадает с результатами, полученными с помощью ГОСТированных дозиметров с 10% погрешностью. (10-15% погрешность допускается ввиду нестабильности работы ускорителя).

Список литературы

1. Пикаев А.К. Дозиметрия в радиационной химии. М., «Наука», 1975. С. 312.

## КОГЕРЕНТНОЕ ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КОРОТКИХ СГУСТКОВ ЭЛЕКТРОНОВ

С.Ю. Гоголев, А.П. Потылицин, Д.В. Карловец, Л.Г. Сухих

Томский политехнический университет

Из анализа спектра когерентного черенковского излучения (КЧИ) [1], которое генерируется коротким электронным сгустком при пролете через осевой вакуумный канал в диэлектрическом цилиндре, возможно, получать информацию об эффективной длине электронного сгустка  $\sigma$ .

Если измерение длины сгустка  $\sigma \geq 1$  мм не представляет технических трудностей [2], то при переходе к субмиллиметровым размерам сгустка (именно такие планируются к использованию в рентгеновских лазерах на свободных электронах, на линейном  $e^-e^+$  коллайдере и др.) часто применяется измерение спектра когерентного излучения (синхротронного, переходного, дифракционного и др.) с помощью интерферометра.

Поскольку черенковское излучение является одним из механизмов поляризационного излучения [3], фотоны последнего, проходя через материал мишени, будут диспергировать. Чтобы измерять спектр ЧИ в вакууме можно использовать мишень в виде конической мишени, причем нормаль к конической поверхности должна совпадать черенковским условием в среде, что позволит в первом приближении непосредственно измерять спектр черенковского излучения в полной аналогии с оптической призмой. Так, например, в недавней работе [4] описана призма на основе CsI, которая использовалась для анализа спектра излучения в терагерцовом диапазоне (от 0.2 ТГц до 1.2 ТГц). В данной работе по модели найдена зависимость распределения спектра КЧИ в вакууме, образованного CsI призмой в виде конической мишени от продольного размера пучка и показано, что прямые спектральные измерения позволяют определить длину сгустка в субмиллиметровом диапазоне без использования интерферометров.

### Список литературы

1. Shchelkunov S.V., Marshall T.C., Hirshfield J.L., LaPointe M.A. // Phys. Rev. ST Accel. Beams. 2005. 8.062801.
2. Ross M. A Very High Resolution Optical Transition Radiation Beam Profile Monitor, SLAC-PUB-9280, July 2002.
3. Tishchenko A.A., Potylitsyn A.P., Strikhanov M.N. X-ray diffraction radiation in conditions of Cherenkov effect// Physics Letters A. 2006. V. 359. P. 509–511.
4. Meijer A.S., Huijpers J.J., Nienhuys H.K., Bonn M. and W.J. van der Zande. A THz spectrometer based on a CsI prism// J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 10 (2008) 095303 (7pp).

## ПОЛЯРИМЕТРИЯ ПУЧКА ЯДЕР $^3\text{He}$ В ЭЛЕКТРОН-ИОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ

И.В. Главанаков, Ю.Ф. Кречетов\*, А.Н. Табаченко

Томский политехнический университет,

НИИ Ядерной физики ТПУ

\*E-mail: krechetov@tpu.ru

В экспериментах по изучению спиновых эффектов рассеяния элементарных частиц существует важная проблема в определении с необходимой точностью степени поляризации пучков взаимодействующих частиц непосредственно во время экспериментальных сеансов.

В проектах eRHIC (EIC collaboration, <http://www.bnl.gov/eic>) и других проектах по созданию электрон-ионных коллайдеров, в которых будут сталкиваться поляризованные пучки электронов с поляризованными пучками ионов необходимо, в частности, определять поляризацию пучка ионов  $^3\text{He}$ .

В данной работе предлагается метод определения поляризации пучка ионов путем измерения асимметрии сечения упругого рассеяния электронов на ядрах  $^3\text{He}$ . Ранее мы решали аналогичную проблему измерения поляризации пучка протонов [1, 2]. Одним из основных критериев при выборе типа поляриметра было отсутствие существенных теоретических неопределенностей в модели инвариантной амплитуды процесса упругого рассеяния электронов на  $^3\text{He}$ , которая записывалась в однофотонном приближении. Для зарядового и магнитного форм-факторов  $^3\text{He}$  использовались результаты вычисления работы [3].

Предсказываемые величины двухспиновых асимметрий  $A_{NN}$ ,  $A_{LL}$ ,  $A_{SL}$  и дифференциального сечения реакции позволяют получить информацию о поляризации пучка ионов  $^3\text{He}$ .

### Список литературы

1. Glavanakov I.V., Krechetov YU.F., Potylitsin A.P., Radutsky G.M., Tabachenko A.N. A proton polarimeter based on the elastic pe-scattering// NIM A. 1996. V. 381. P. 275.

2. Glavanakov I.V., Krechetov YU.F., Nurushev S.B., Radutsky G.M., Tabachenko A.N. Elastic pe-scattering as analyzer of high energy proton beam polarization (from RHIC to LHC). SPIN 96 Proceedings, September 10-14, 1997, Amsterdam, P.794.

3. Hadjimichael E., Goulard B., Bornais R. Electromagnetic form factors of the A=3 systems// Phys. Rev. C. 1983. V. 27. P. 831.

## РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДНИХ И ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА УСКОРИТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ НЕСКОЛЬКО МэВ

В.И. Беспалов<sup>1</sup>, Ю.Ф. Кречетов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет  
НИИ Ядерной физики Томского политехнического университета  
\*E-mail: bvi@interact.phtd.tpu.ru

Рентгенофлуоресцентный элементный анализ находит широкое применение во многих прикладных сферах деятельности человека. Основой приборов для такого анализа обычно служат рентгеновские трубки. Современные приборы с рентгеновскими трубками позволяют определять концентрации элементов до  $10^{-6}\%$ , но для некоторых задач требуется еще большая чувствительность. Для повышения чувствительности предлагается использовать низкоэнергетическую область тормозного спектра электронного ускорителя на энергию несколько МэВ.

Методом Монте-Карло проведены расчеты оптимальной толщины и материала радиатора для получения наибольшего выхода «мягкой» части тормозного излучения, а также необходимой интенсивности пучка электронов. Проведенное сравнение спектров рентгеновской трубки и электронного ускорителя в области К-серии показывает, что использование ускорителя позволяет значительно повысить чувствительность энергодисперсионного метода для средних и тяжелых элементов.

## ОСНОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ. Ч. 1, ЭНТРОПИЯ

В.С. Дацко

ГОУ ВПО МО МУПОиЧ “Дубна” филиал “Протвино”

E-mail: viktor.datsko@gmail.com

Из термодинамики известно, что энтропия  $S$  – аддитивная величина, то есть, энтропия системы есть сумма энтропий неких частей системы:

$S = S_1 + S_2 + \dots + S_i + \dots + S_n$ . Потребуем, кроме того, чтобы энтропия была функцией вероятности, то есть:  $S(P) = S_1(P_1) + S_2(P_2) + \dots + S_i(P_i) + \dots + S_n(P_n)$ . Выполнения двух этих условий достаточно, чтобы найти функциональный вид энтропии -  $S = a \cdot \ln P$ .

Вероятность состояния в системе меняется так:  $0 < P < 1$ . Поскольку независимость состояний выражается формулой:  $P = P_1 P_2 \dots P_n$ , следует сделать вывод, что произведение  $P$  по величине всегда меньше наименьшего сомножителя.

Этот вывод справедлив для любого распределения!

Теорема 1 (закон возрастания энтропии): в произвольной эволюционирующей системе энтропия возрастает.

Для любой системы можно записать:  $P = \lim_{n \rightarrow \infty} \prod_{i=1}^n P_i \rightarrow 0|_{n \rightarrow \infty}$ . Тогда, для произвольной системы  $S = \lim_{n \rightarrow \infty} (a \ln P) = a \left( \ln \left[ \lim_{n \rightarrow \infty} \prod_{i=1}^n P_i |_{\rightarrow 0} \right] \right) \rightarrow \infty$ . Это и означает, что в процессе эволюции энтропия системы возрастает.

Легко показать, что доказательство верно и для незамкнутых непрерывных систем.

Поскольку для непрерывных совокупностей существует определение вероятности попасть в интервал  $dx$ :  $P = f(x)dx$ , то для плотностей вероятности -  $f(v)dv = f(v_1)dv_1 f(v_2)dv_2$  и, следовательно, нельзя записать  $f(v) = f(v_1)f(v_2)$ . Значит, может существовать функция  $I = \int f(x) \ln f(x) dx$ , но она не может быть энтропией, иначе не мог бы существовать вышеуказанный вывод функционального вида энтропии.

В статфизике известен интеграл  $S(B) - S(A) = \int_A^B \frac{\delta Q}{T}$ , где  $S(B)$  и  $S(A)$  – традиционно полагают энтропией системы в состоянии  $B$  и  $A$ .  $\Delta s = s_B - s_A = -a \ln P_B - (-a \ln P_A) = a \ln(P_B/P_A)$ . Энтропия события, заключающегося в том, что система находится в состоянии  $A$ , а затем переходит в состояние  $B$  равна:  $S_{\text{соб}} = -a \ln P_A P_B$ . Если справедлива традиция - нарушается свойство аддитивности энтропии -  $\ln(P_B/P_A) \neq \ln P_A P_B$ . Следовательно,  $S(B)$  и  $S(A)$  не могут быть энтропиями состояний.

УДК 621.039.32.054



## НУЖНА ЛИ СЕВЕРСКАЯ АЭС ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Ф.П. Кошелев, О.В. Селиваникова

Томский политехнический университет

Правительство России отнесло ядерную энергетику к числу приоритетов в экономическом развитии Российской Федерации. Кризис наглядно продемонстрировал, что локомотивами для инновационного роста должны быть не сырьевые отрасли, а высокотехнологические отрасли, к которым, безусловно, относится ядерная энергетика.

Необходимость строительства Северной АЭС продиктована сложной ситуацией в энергоносителе Томской области и объединенной энергосистемы Сибири в целом. После плановой остановки реакторов на Сибирском химическом комбинате собственная выработка электроэнергии в области в 2008 году составила около 38 % от объемов потребления.

Физический износ генерирующего оборудования на тепловых электростанциях области превышает 60 %. В докладе подробно рассмотрены основания для строительства Северной АЭС и выполненные этапы работ. Планируется построить двухблочную АЭС с реакторами ВВЭР – 1150 суммарной мощностью 2300 МВт на основании базового проекта АЭС 2006, в котором учтены все требования МАГАТЭ по безопасности.

Оценены, последствия (экологические, экономические) гипотетической ситуации, при которой энергоблоки электрической мощностью 2300 МВт использовали бы в качестве топлива уголь, газ или другие альтернативные источники. Сравнение показало, что ядерный энергоисточник – это единственная возможность значительно уменьшить дефицит электрической мощности и обеспечить энергетическую безопасность. Проанализирована ситуация, что получит Томская область в результате строительства атомной станции.

Таким образом, выполнение этого проекта позволит добиться высоких экономических показателей и обеспечит качественно новый, более высокий уровень жизни населения.

## АТОМНЫЙ РЕНЕСАНС В МИРЕ И РОССИИ

Ф.П. Кошелев, О.В. Селиваникова, Н.О. Троценко

Томский политехнический университет

К 2030 году в мире ожидается удвоение производства электроэнергии. Сохранение текущей структуры топливной корзины невозможно по известным причинам, а ее оптимизация требует расширения доли АЭС в мире, как минимум до 25 %. Ренессанс - это утроение масштабов энергетики по атомной технологии до 2030 года и резкий старт процесса строительства ожидается в период между 2010 и 2015 годами.

В настоящее время атомная энергетика сохраняет и усиливает свои позиции, как один из основных мировых источников энергии. На атомную энергию приходится 6% мирового топливно-энергетического баланса и 17% производимой электрической энергии. Нарботано уже более 10 000 реакторо·лет, из них 7 000 – без крупных аварий после апреля 1986 года. В 2020 году будет эксплуатироваться более 500 блоков АЭС. Прогнозируется, что к середине XXI века около 50 стран будут располагать ядерной энергетикой. Согласно МАГАТЭ, по состоянию на конец 2007 г. в 32 странах мира работало 439 энергетических реакторов 8 строилось и еще 62 реактора находились на стадии получения разрешения на строительство. Первое место в этом списке принадлежит США со 103 энергоблоками, далее – Франция (59), Япония (55), Россия (31). В дополнение к атомным электростанциям имеется 300 научно-исследовательских и экспериментальных ядерных реакторов в 56 странах. Они используются для изучения ядерных технологий, при медицинской диагностике и лечении различных болезней. Свыше 200 ядерных реакторов установлено на надводном и подводном транспорте.

Вклад ядерной энергетики в общее энергопроизводство в странах мира различный: 78% во Франции, 54% в Бельгии, 39% в Южной Корее, 30% в Японии, 19% в США, 16% в России, 2% в Китае.

Для сравнения, по доле энерговыработки с помощью АЭС Россия занимает 20 место в мире. В 2009 г. в России действовало 10 АЭС (32 энергоблока;  $N_3=24,2$  ГВт). Доля энерговыработки  $\sim 17\%$ . До 2020 г. планируется построить 26 новых энергоблоков, увеличить долю выработки до 25 % в перспективе до 30 %. Рассмотрен предполагаемый вариант ввода ядерных энергоблоков до 2020 г. В России принята Федеральная целевая программа (ФЦП) – «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России» на 2007-2010 годы и на перспективу до 2015 года. Основная ее цель – реализация ускоренного развития атомного энергопромышленного комплекса для обеспечения геополитических интересов страны и энергетической безопасности России.

## ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

Ф.П. Кошелев, О.В. Селиваникова, А.А. Валетов

Томский политехнический университет

Федеральная целевая программа по развитию ядерной медицины включает в себя строительство четырёх центров ядерной медицины: в Димитровграде, Томске, Екатеринбурге и Дубне. В настоящее время подобных учреждений в России не существует, отдельные технологии ядерной медицины применяются только в крупных онкологических клиниках. Актуальность исследований по применению достижений ядерной и радиационной физики в медицинских целях не вызывает сомнений. Настоящая работа представляет собой обобщение и анализ отечественных и зарубежных информационных источников, рассматривающих использование ядерных технологий в медицине. Будущие медицинские физики, радиобиологи и врачи-радиологи должны иметь достаточно полное и правильное представление об этой, весьма сложной, проблеме.

Создание центра позволит объединить медицинские знания, инженерную мысль и ядерные технологии для спасения жизней и здоровья не только жителей Томской области, но и всей восточной части России.

В работе рассмотрено использование ионизирующего излучения (ИИ) в лучевой терапии, рентгенотерапии, радионуклидной дистанционной  $\gamma$ -терапии. Приведены примеры использования в терапии высокоэнергетических фотонов, электронов и протонов. Особое внимание уделено нейтронной терапии, которая успешно используется в 3 специализированных центрах в России (Обнинск, Томск, Снежинск). Перелом в лечении рака предстательной железы внесла брахитерапия – разновидность радиотерапии.

Радионуклидная диагностика – это диагностика заболеваний и функционального состояния организма человека с использованием радионуклидов. Для целей диагностики с помощью радионуклидов и ионизирующего излучения используются такие приборы и установки, как сканеры, гамма-камеры, радионуклидные (эмиссионные) и рентгеновские томографы. Приведена таблица применения основных медицинских радионуклидов. Рассмотрены радиоактивные электрокардиостимуляторы и радиационная стерилизация медицинских инструментов и материалов.

В заключение показана экономическая выгода от использования радионуклидов в системах здравоохранения Австралии и США. Сегодня ядерная медицина США – это индустрия с годовым оборотом 7-10 млрд долл.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ДЕЗАКТИВАЦИИ ЛОМА НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

В.И. Бойко\*, Г.Н. Колпаков\*, В.А. Кузов\*\*, В.И. Хвостов\*\*, Е.Д. Кротов\*,  
Е.А. Окунев\*, А.Л. Павлов\*, И.С. Сеницын\*

\*Томский политехнический университет,

\*\*Сибирский химический комбинат

Объектом исследований явились образцы трубопроводов контура охлаждения выведенных из эксплуатации промышленных реакторов. Целью исследований было отыскание экономически приемлемого и технологически осуществимого в условиях комбината метода.

В результате выполненных работ были предложены два метода удаления радиоактивных загрязнений:

- метод дезактивации электрогенерированным водородом, который оказался эффективным для обработки образцов труб «холодной» ветви контура охлаждения реактора;
- метод комбинированной дезактивации, сочетающий химическую и электрохимическую стадии обработки для образцов труб «горячей» ветви контура охлаждения реактора.

Результаты исследований защищены патентом и создана экспериментальная установка. Экспериментальная часть исследований изложена в научных отчётах и дипломных работах студентов ФТФ. Научная часть исследований изложена в диссертационной работе, подготовленной к защите.

## ВЛИЯНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПРОИЗРАСТАНИЯ И ВИДА СФАГНОВЫХ МХОВ НА СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

К.Ю. Рындюк

Томский политехнический университет

Хорошо известно, что протекание заболеваний существенным образом зависит от микроэлементного равновесия в организме человека. Для восполнения недостатка микроэлементов широко применяются минеральные соли, однако их усвоение не превышает 3-10 %. В растениях микроэлементы находятся в более доступной, органически связанной форме, поэтому в настоящее время все большее количество лекарств изготавливается из растительного сырья. Однако при этом возникает необходимость изучения элементного состава лекарственных растений, т.к. физиологическое действие различных элементов зависит от их дозы. Особый интерес представляют ценные с медицинской точки зрения и, наоборот, опасные и токсичные для человека химические элементы. Сфагновые мхи давно используются в народной медицине разных стран как высокоэффективный перевязочный материал благодаря кровоостанавливающим и ранозаживляющим свойствам. Эти свойства могут быть использованы при разработке новых высокоэффективных и малотоксичных лекарственных средств. Однако информация о химическом составе данных растений носит фрагментарный, несистематизированный характер.

Работа посвящена изучению влияния территории произрастания и вида сфагновых мхов на содержание в них химических элементов. Исследования проведены методом атомно-эмиссионного анализа в научно-аналитическом центре ТПУ. Влияние территории произрастания на элементный состав лекарственных растений изучалось во мхе рода *S.fuscum*. Образцы отбирали на болотных массивах Томской области, ХМАО, ЯНАО. Влияние вида мха изучалось в сфагновых мхах 4 различных видов: *S. balticum*, *S. fuscum*, *S. fallax*, *S. magellanicum* - отобранных на болотном массиве, расположенном на расстоянии примерно 100 км от г.Томска. На основе статистической обработки результатов измерений показано, что содержание химических элементов зависит от территории произрастания. Особое внимание уделено изучению содержания наиболее токсичных элементов - мышьяка, свинца, кадмия.

### Список литературы

1. Ловкова, М. Я. О возможности использования лекарственных растений для лечения и профилактики микроэлементозов и патологических состояний / М. Я. Ловкова, Г. Н. Дузук, С. М. Соколова, Л. Н. Дервяго // Микроэлементы в медицине. – 2005. – Т. 6, № 4. – С. 3-9.

## ОСАЖДЕНИЕ СОДЕРЖАЩИХ ФУЛЛЕРЕНА ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ МОЩНЫМИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ

В.К. Струц, А.Л. Плотников<sup>1</sup>, А.А. Веригин<sup>2</sup>

НИИ ядерной физики, г. Томск

<sup>1</sup>ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

ТОО «ТехноАналит», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Углерод может существовать в различных аллотропических формах, образуя кристаллические решетки различных модификаций, и образовывать такие сложные молекулы, как фуллерены и нанотрубки. Углеродные покрытия в виде аморфных пленок обладают хорошими трибологическими характеристиками: высокой твердостью (до 30 ГПа), низким коэффициентом трения, что приводит к значительному повышению износостойкости изделий с такими покрытиями. Огромные перспективы применения имеют пленки углерода в виде фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  и углеродных нанотрубок. Использование углеродных покрытий на основе фуллеренов позволяет получать минимальные сверхпроводящие, проводящие, полупроводниковые и изолирующие структуры для нанoeлектроники, создавать логические устройства, использующие уникальные магнитные и проводящие свойства этих наноструктур, для записи и хранения огромных объемов информации. Поэтому получение углеродных покрытий и пленок на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  является актуальной задачей.

Основным методом, применяемым в настоящее время для получения таких пленок, является термовакuumное осаждение на подложку фуллеренов при их нагревании до высокой температуры. Этот метод является весьма неэкономичным (с точки зрения расходования дорогостоящих фуллеренов), и не позволяет в широком диапазоне контролировать и менять характеристики получаемых покрытий. Более перспективным является метод образования фуллеренов и осаждения их на подложку в едином цикле из углеродной плазмы, создаваемой при облучении графитовой мишени импульсными мощными ионными пучками (МИП). Для образования фуллеренов углеродная абляционная плазма с температурой 3000-4000 К, получаемая при воздействии импульсных МИП на графитовую мишень, в процессе осаждения на подложку должна снизить температуру до  $\sim 2000$  К. Основные параметры такого адиабатически разлетающегося пароплазменного потока – плотность и температура на мишени задаются плотностью энергии ионного пучка. При осаждении плазмы на подложку характеристики образующейся пленки определяются темпом осаждения, т.е. толщиной пленки, осаждаемой за один импульс ионного тока, и скоростью охлаждения пленки.

## РТУТНАЯ ЛАМПА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.А. Колесников

Омская областная станция юных техников

Ранее было показано [В.А. Колесников. Гелий-неоновый лазер – источник сверхизлучения Роберта Дикке // Межд. юбилейная научно-практическая конференция «Проблемы физико-технического образования и атомной промышленности». Томск, 5-8 июня 2000 г. С. 84-86.], что если поместить в продольное магнитное поле гелий-неоновый или инжекционный лазеры, то в камере наблюдения, отделённой от лазера диэлектрическим, непроницаемым для лазерного света фильтром, начинает наблюдаться светящаяся область (СО) с энергией квантов 2эВ.

Камера наблюдения представляла собой две горизонтальные серебряные пластины шириной 15 и длиной 40мм с расстоянием между ними в 10мм. Вплотную к пластинам стояла ещё одна вертикальная серебряная пластина. Наблюдение осуществлялось с помощью фотоаппарата в зазор между горизонтальными пластинами. Лазер располагался горизонтально и светил слева направо, а его излучение поглощалось фильтром на входе в камеру наблюдения. Излучение шло по оси горизонтальных пластин. Светящаяся область образовывалась на расстоянии 10мм от вертикальной пластины и при экспозиции в несколько секунд имела размер шириной 10 и длиной 25мм. При неизменных условиях вероятность появления СО составляла менее 0,01.

В ходе дальнейших исследований обнаружилось, что для повышения вероятности появления светящейся области необходимо вплотную к лазеру установить ртутную лампу мощностью 125Вт. В этом случае вероятность регистрации приближается к 1.

Предложенная гипотеза, объясняющая явление, сводится к следующему. В ртутной лампе образуются магнитные пары частица-античастица массой  $6\text{эВ}/c^2$ . Когда эти магнитные пары попадают в активную лазерную среду, с их помощью путём поглощения когерентных фотонов с энергией 2эВ происходит синтез кластеров. В камере наблюдения кластеры, состоящие из пар магнитных частиц, наводят при полёте к отражателю электрический ток, который в свою очередь создаёт встречное кластерам магнитное поле. От этого магнитного поля и отражаются кластеры. После этого в каждом кластере происходит индуцированная аннигиляция пар магнитных частиц с испусканием трёх квантов с энергией 2эВ.

## ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В РЕАКТОРНОМ ГРАФИТЕ

А.В. Головацкий, В.Н. Нестеров, И.В. Шаманин

ГОУ ВПО «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»

Анализ результатов научно-исследовательских работ в области работоспособности ядерно-чистого реакторного графита показал, что его срок службы определяется значением критического флюенса повреждающих нейтронов (нейтроны с энергией выше 180 кэВ). В свою очередь значение критического флюенса определяется температурой облучения и плотностью потока сопутствующего гамма-излучения, что может вызывать снижение ресурса графитовых конструкций высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР).

С целью определения действующего значения плотности потока повреждающих нейтронов в реакторе ВТГР в многогрупповом диффузионном приближении выполнены численные эксперименты. Определено, что увеличение характерных размеров активной зоны ядерного реактора на тепловых нейтронах свыше 2 м не оказывает существенного влияния на спектр потока нейтронов. Получена зависимость действующего значения плотности потока повреждающих нейтронов от выгорания ядерного топлива для стандартного и перспективных ядерных топливных циклов.

Разработана методика определения действующего значения плотности потока сопутствующего гамма-излучения по параметрам спектра потока нейтронов на базе положения о том, что основными каналами формирования поля сопутствующего гамма-излучения в активной зоне ядерного реактора являются реакции деления ядер и радиационного захвата нейтронов.

Разработана методика определения влияния параметров спектра потока нейтронов на скорость образования точечных дефектов (пар Френкеля). Показано, что в отсутствии процессов рекомбинации дефектов и при условии прямой пропорциональности концентрации точечных дефектов плотности потока повреждающих нейтронов все атомы, находящиеся в кристаллической решетке, за время эксплуатации графита должны перейти в дефекты. В этой связи сформулирована аналитическая модель дефектообразования, учитывающая изменение концентрации атомов, находящихся в узлах кристаллической решетки, а также вклад процессов рекомбинации в снижение концентрации точечных дефектов.



## ГЕНЕРАЦИЯ ОСТРОФОКУСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ В НЕОДНОРОДНЫХ СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ

В.В. Каплин, С.Р. Углов

НИИ Ядерной физики Томского политехнического университета

Исследуется генерация рентгеновского излучения быстрыми электронами в сложных структурах типа неоднородных фотонных кристаллов, состоящих из слоистых периодических подструктур, разделенных каналами-волноводами. Механизм генерации соединяет в себе эффекты параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) в слоистых подструктурах радиатора, то есть в слоистых стенках канала структуры, и волноводный эффект для излучения, генерированного в подструктурах и проходящего радиатор в волноводных модах в режиме подобном эффекту Бормана с малым поглощением.

Исследования являются развитием работ [1-4] по генерации ПРИ быстрыми электронами в периодических структурах типа рентгеновских интерференционных зеркал, а также по волноводному эффекту для рентгеновского излучения, генерированного быстрыми электронами в простых планарных рентгеновских волноводах, которые проводились на внутреннем пучке бетатрона Б-35 при энергии электронов 15-35 МэВ с использованием многослойных структур, состоящих из нескольких сотен пар слоев W и В4С с толщинами в несколько нанометров, и трехслойных W-C-W тонкопленочных структур с толщинами слоев 100 – 50 – 100 нанометров.

Исследования поддержаны Российским Фондом Фундаментальных исследований, проект № 10-02-00942а.

### Список литературы

1. Каплин В.В., Углов С.Р., Сохорева В.В. и др.// Изв. вузов. Физика. 2007. Т. 50. № 10/3. С. 172.
2. Каплин В.В., Углов С.Р., Сохорева В.В. и др.// Изв. вузов. Физика. 2007. Т. 50. № 10/3. С. 166.
3. Каплин В.В., Углов С.Р., Сохорева В.В. и др.// Изв. вузов. Физика. 2009. Т. 52. № 11/2. С. 295.
4. Kaplin V.V., Sohoreva V.V., Uglov S.R. et al, // Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. B. 2009. 267. P. 777.

## ТЕСТОВАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ИВГ.1М

И.В. Прозорова

Институт Атомной энергии (ИАЭ), г. Курчатов, Республика Казахстан

Разработана и протестирована модель реактора ИВГ.1М для расчета критической конфигурации его активной зоны. Все элементы активной зоны, а также боковые и торцевые отражатели, представлены в соответствии с их проектными характеристиками. Особенностью модели является то, что в расчетах учитываются:

- возможность изменения положение стержней системы компенсации реактивности (СКР);
- изменения углового положения регулирующих барабанов бериллиевого отражателя от 0 градусов (поглощающие элементы в активной зоне реактора) до 180 градусов (поглощающие элементы вне зоны).

Модель выполнена с помощью расчетного кода MCNP5 с использованием библиотеки ENDF/B-VI. Выполнены расчеты для 6-ти различных конфигураций загрузки реактора.

Проведено сравнение расчетных данных с результатами физических исследований по достижению критического состояния реактора в различных конфигурациях его активной зоны и при различных углах разворота регулирующих барабанов. Сопоставление данных позволяет сделать вывод о том, что разработанная модель может далее использоваться для расчета нейтронно-физических характеристик реактора ИВГ.1М.

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ЭЛЕКТРОИНДУЦИРОВАННОМ ДРЕЙФЕ КАТИОНОВ ЦЕРИЯ И СВИНЦА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ СОЛЕЙ

И.В. Шаманин, И.В. Ломов, С.Ю. Долгополов, А.В. Иванов

ГОУ ВПО «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»

В работе изучается техническая реализация процесса селективного дрейфа сольватированных катионов при наложении на водный раствор их солей асимметричного электрического поля [1].

При действии на растворы солей периодического электрического поля, амплитуды которого различаются, наблюдается дрейф сольватированных катионов. Параметры дрейфа зависят от многих параметров, таких как напряженность поля, частота, природа иона и растворителя, температура, отношение амплитуд полупериодов, геометрия экспериментальной установки и другие. В данной работе приведены результаты исследования параметров дрейфа ионов в зависимости от параметров электрического поля.

Объектом исследования был выбран водный раствор смеси солей  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  с концентрациями металлов 0,1 г/л. Анализ проведенных экспериментов позволил заключить, что зависимость коэффициента разделения катионов металлов в водном растворе имеет немонотонную и, по ряду параметров, периодическую зависимость от частоты электрического поля, отношения амплитуд полупериодов электрического поля и времени действия поля. Оптимальные сочетания параметров индивидуальны для каждого состава раствора. Оптимальное время действия поля зависит от параметров поля (частоты, отношение амплитуд полупериодов) и раствора (концентрация, состав). Максимальные коэффициенты разделения катионов церия и свинца в водном растворе их нитратов наблюдаются при частоте поля 100 Гц, отношении амплитуд полупериодов 600/300 В и времени воздействия поля 4,5 часа. При этом коэффициент разделения катионов металлов составил 1,055. Изменение времени воздействия уменьшает коэффициент разделения. Увеличение частоты поля приводит к изменению времени достижения максимального разделения. Воздействие симметричного поля не вызывает разделения катионов, что полностью соответствует теоретической модели процесса.

Список литературы

1. Казарян М.А., Шаманин И.В., Ломов И.В. // Альтернативная энергетика и экология. №11. 2007. С. 150-159.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНОВ ВЫДЕРЖКИ РЕАКТОРНОГО ЗАВОДА ФГУП «ГХК»

Д.В. Жирников<sup>1</sup>, М.В. Антоненко<sup>1</sup>, Н.Н. Руцкий<sup>1</sup>, И.В. Шаманин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «ГХК»

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

За годы эксплуатации бассейнов выдержки отработанных твэлов уран-графитовых реакторов ФГУП «ГХК» в них накопилось большое количество иловых (донных) отложений в виде речного ила с примесью продуктов коррозии, россыпей облученных твэлов и авиалевых блоков, а также случайных предметов и мусора.

Особый интерес представляют иловые отложения бассейнов, в которых находятся отработанные высокообогащенные твэлы ДАВ-90, срок хранения которых достигает 22 года.

Для детального изучения состава илов осуществлен их пробоотбор с помощью специально разработанного оборудования, проведены исследования радионуклидного состава иловых отложений.

Разработан нейтронно-активационный метод определения делящихся изотопов ( $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ ) в иловых отложениях бассейнов выдержки отработавших твэлов.

Обнаружены значимо высокие уровни  $\alpha$ -активности илов, отобранных из бассейна хранения твэлов высокого обогащения.

На основании анализа результатов измерений содержания в илах радионуклидов обнаружен очаговый характер «загрязнений» иловых отложений, определяемый различием активности отобранных проб на одни-два порядка.

Наличия дополнительного источника повышенной активности объяснено присутствием в пробе фрагментов твэлов в виде мелких частиц. Данный факт был подтвержден в ходе разделения пробы на более мелкие, вплоть до выявления локализованного источника повышенной активности - частицы.

Провели гамма-спектрометрический анализ частиц, определили их массу и распространенность в илах бассейнов выдержки.

Высказано предположение о разгерметизации единичных твэлов в результате коррозионных процессов с выходом радионуклидов в водную среду и последующей их концентрацией в илах. Данное предположение подтверждено визуальным осмотром твэлов.

## ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННОГО РАДОНА И ТОРОНА НА ПЛОТНОСТЬ ИОНИЗАЦИИ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Д.А. Плужникова, В.С. Яковлева, А.В. Вуколов, В.Д. Каратаев

Томский политехнический университет

Известно, что изотопы радона и продукты их распада являются сильными ионизаторами воздуха, что вызывает интерес к ним со стороны физики атмосферы. Считается, что космическая радиация и излучение почвенных радионуклидов представляют собой почти постоянную по времени компоненту плотности ионизации атмосферы, а радон и продукты его распада – вариативную компоненту, которая представляет большой интерес для исследования электрических свойств атмосферы.

С целью изучения вариативной компоненты в данной работе была разработана модель плотности ионизации атмосферы ионизирующим излучением, возникающим при радиоактивном распаде радона, торона и продуктов их распада, содержащихся в приземном слое атмосферы. Оценки плотности ионизации атмосферы за счет радона, торона и продуктов их распада, находящихся в приземном слое атмосферы, были произведены с учетом средней энергии ионообразования в воздухе, при различных значениях плотности потока радона и торона, выходящих с поверхности земли. В расчетах разделялся вклад в суммарную плотность ионизации от разных видов ионизирующего излучения: альфа, бета и гамма. Анализ результатов моделирования позволил сделать следующие выводы:

1. Функция плотности ионизации приземной атмосферы радоном и продуктами его распада на небольших высотах практически линейная и снижается с высотой. Угол наклона функции определяется величиной коэффициента турбулентности атмосферы.

2. Функция плотности ионизации приземной атмосферы тороном и продуктами его распада экспоненциально снижается с ростом высоты. Причем с уменьшением турбулентности атмосферы ее снижение происходит более резко.

3. Торон вносит вклад в ионизацию атмосферы, в основном, на высотах до единиц метров, в то время как радон и продукты распада переносятся вихревыми потоками до больших высот, более 100 метров, и производят относительно равномерную ионизацию по высоте.

4. Сильная ионизация воздуха приземной атмосферы на расстоянии нескольких метров от земной поверхности может происходить только в спокойной атмосфере при  $D_T = 0,001 \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$  и меньше.

Работа выполнена при поддержке АБЦП "Развитие научного потенциала высшей школы" № 2.1.1/544.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ УРАНА ХМЗ ОАО «СХК» ПО ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ СУММЫ АЛЬФА-ИЗЛУЧАЮЩИХ НУКЛИДОВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Е.Г. Генералова

Томский политехнический университет

В процессе производственной деятельности поверхности помещений, оборудования, инструмента, воздух, вода, средства индивидуальной защиты персонала, могут загрязняться радиоактивными веществами. Основным причинам радиоактивного загрязнения воздуха рабочей зоны являются: негерметичность боксов, камер, контейнеров, вентиляционных агрегатов, систем пылегазоочистки, вытяжных воздуховодов; разрыв камерных перчаток; разлив, россыпь радиоактивных веществ; вскрытие и разборка загрязненного оборудования при проведении ремонтных и планово-профилактических работ; камерах, шкафах вследствие недостаточной эффективности вытяжной вентиляции; вынос загрязненного оборудования из камер, боксов, без предварительной их дезактивации; нарушение персоналом правил ведения технологического процесса и установленных технологических режимов; аварийные ситуации.

Целью данной работы является: оценка внутреннего облучения персонала при нормальных условиях и в случае аварийной ситуации в химико-металлургическом производстве СХК. Исходя из цели были поставлены задачи: 1) Провести определение объемной активности суммы альфа-излучающих нуклидов в воздухе рабочей зоны. 2) Провести расчет доз внутреннего облучения персонала при разгерметизации технологического оборудования.

### Список литературы

1. СП 2.6.1.758-99 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99)»
2. СТП 221.3-2005 «Организация и методы радиационного контроля. Воздух рабочих помещений»;
3. Регламент «Контроль внутреннего облучения персонала» РБ Р 07.2-049-2008
4. РИ 80-07/006-2009 «Рабочая инструкция по подготовке проб и проведению анализа по определению объемной активности суммы альфа-излучающих нуклидов в воздухе рабочих помещений»
5. ГОСТ 25146-82 «Материалы радиохимических производств и ядерных энергетических установок. Метод определения коэффициента дезактивации».

## МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

О.А. Бащущая

«НИУРЭТ» ТПУ

Целью данной работы является изучение, и практическое применение различных методов контроля аэрозольной составляющей воздуха рабочих помещений в условиях ЗРИ. В данной работе будут рассматриваться различные методы контроля: контроль радиационной обстановки, контроль воздуха рабочих помещений. В ходе данной работы измерения проводятся стационарным методом и оперативным контролем. В результате проделанной работы произвести оценку результатов измерений. На основе проделанной работы сделать вывод.

### Список литературы

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99).
2. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).
3. Методическая инструкция «Производство обогащенного гексафторида урана». Организация и порядок проведения работ. СК.МИ 40-1038-2006дсп.
4. Инструкция по эксплуатации конденсационно-испарительных установок (КИУ) здания 1004.
5. Рабочая инструкция по эксплуатации и обслуживанию систем непрерывного отбора проб воздуха РИ 40-02-36-2009.
6. Методические указания. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность, дозиметрия, индивидуальный контроль внешнего облучения персонала. Общие требования. МУ-ИДК1-98. Москва 1998г.
7. Методика выполнения измерений радиометрическим методом активности альфа-излучающих нуклидов в воздухе.

## ВОЗМУЩЕНИЕ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ ГРОЗОВЫМИ ФРОНТАМИ

<sup>1</sup>Нагорский П. М., <sup>1</sup>Ипполитов И. И., <sup>1</sup>Кабанов М. В., <sup>2</sup>Каратаев В. Д.,  
<sup>1</sup>Смирнов С. В., <sup>2</sup>Яковлева В. С., <sup>2</sup>Вуколов А.В., <sup>2</sup>Попов А.В.

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
г. Томск, nrm\_sta@mail.ru

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, г. Томск, karataev@ tpu.ru

Известно, что долговременным предвестником приближения активных циклонических образований в атмосфере к точке наблюдения является постепенное падение атмосферного давления в течение суток и более. Но не каждый циклон несет опасность высокой грозовой активности, шквалистого ветра и ливневых осадков, что характерно только для того времени года, в который наиболее вероятна высокая грозовая активность. Результаты наблюдений за атмосферными явлениями с помощью оборудования, размещенного на территории метеорологической обсерватории Института мониторинга климатических и экологических проблем СО РАН РФ, г. Томск [1], позволили связать некоторые измеряемые параметры приземного слоя атмосферы с приближением атмосферного циклонического фронта, предвещающего высокую грозовую активность. Измерены хронологические ряды напряженности электрического поля у поверхности земли и показания радиометра потока смешанного гамма- и бета- излучений в период прохождения атмосферного фронта над точкой наблюдения 14 июля 2009 года и 24 июня 2009 года, сопровождавшихся высокой грозовой активностью и плотными ливневыми осадками. Здесь отчетливо обозначается кратковременные предвестники надвигающейся грозы – повышение напряженности электрического поля за 1,5 часа до первого грозового разряда, затем знакопеременные аperiodические колебания параметра со средним периодом 1 час, а также период выхода на стационарное состояние атмосферного электричества. Синхронно возникают возмущения и в поле смешанного гамма- и бета- излучений, но с меньшей представительностью предвестника грозовой активности.

Работа выполнена при поддержке ФЦП 02.740.11.0738

### Литература

1. Ипполитов И. И., Кабанов М. В., Нагорский П. М., Смирнов С. В. Изменчивость метеорологических и атмосферно-электрических величин в приземном слое атмосферы в предгрозовых ситуациях // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 11–16.
2. Н.В. Красногорская Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. С. 20-29.



## О КОРРЕКТИРОВКЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПЕРВОГО КОНТУРА РЕАКТОРОВ ТИПА «ВВЭР»

А.Б. Александров<sup>1</sup>, А.В. Бабушкин<sup>1</sup>, И.М. Белозеров<sup>2</sup>, А.В. Волощук<sup>2</sup>,  
В.Г. Крицкий<sup>3</sup>, А.Г. Лях<sup>1</sup>, Н.З. Ляхов<sup>4</sup>, Э.П. Магомедбеков<sup>5</sup>, Е.П. Муратов<sup>1</sup>,  
В.И. Потапенко<sup>1</sup>, А.А. Семёнов<sup>6</sup>

1. ОАО «Новосибирский завод Химконцентратов»; 2. ОАО «Новосибирский «ВНИПИЭТ»»; 3. ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ», Санкт-Петербург; 4. Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск; 5. «ИМСЭН» при РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва; 6. ОАО «ВНИИНМ» им. А.А. Бочвара, Москва

Для регулирования реактивности ядерных реакторов типа ВВЭР-PWR используют, в частности, поглощение в активной зоне избыточных тепловых нейтронов (ТН) изотопом «бор-10», вводимым в теплоноситель первого контура (ТНПК) в виде борной кислоты (БК) природного состава. Для снижения коррозионной активности БК в ТНПК вводят гидроксиды щелочных металлов и аммония. Согласно опубликованным данным, в реакторах типа ВВЭР отечественного производства для этого используют КОН с добавкой  $\text{NH}_4\text{OH}$ , а в реакторах типа PWR для этих же целей используют производимый, в частности, в ОАО «НЗХК» гидроксид изотопа «литий-7». При поглощении ТН протекает реакция  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ , по которой в ТНПК образуется техногенный изотоп  $^7\text{Li}$ , природный «брат» которого уже имеется в ТНПК реакторов типа PWR. В реакторах же типа ВВЭР наряду с целевой реакцией при взаимодействии ТН с вводимыми в ТНПК атомами К и N (из  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) протекают (правда, с меньшими скоростями) процессы, приводящие к образованию биоактивных изотопов «калий-40» и «углерод-14», являющихся долгоживущими высокоэнергетичными  $\beta$ -излучателями (для  $^{40}\text{K}$ - $T_{1/2}=1,42 \times 10^9$  лет, а  $E=1,325$  МэВ; для  $^{14}\text{C}$ - $T_{1/2}=5568$  лет, а  $E=155$  кэВ, тогда как для трития  $T_{1/2}=12,46$  лет, а  $E=18$  кэВ). Непрерывная генерация этих био- и радиоактивных изотопов негативно отражается на имидже реакторов типа ВВЭР в сравнении их на рынке с реакторами типа PWR западного дизайна, полностью лишенными этого недостатка. Учитывая неизбежное образование техногенного изотопа  $^7\text{Li}$  в ТНПК обоих типов реакторов, целесообразна постановка вопроса о корректировке ВХР реакторов типа ВВЭР с исключением из него соединений К и N. Исследование и обоснование этой корректировки должно быть выполнено соответствующими организациями, тогда как ОАО «НЗХК» уже сегодня располагает реальными возможностями для обеспечения перевода всех реакторов типа ВВЭР на откорректированный ВХР с использованием изотопа «литий-7».

## АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ

С.П. Вавилов, К.Б. Шерматов

Томский политехнический университет

Рентгеновский контроль остается одним из основных методов контроля в современной промышленности. Нашли свое применение и импульсные рентгеновские аппараты (ИРА), разработанные и совершенствующиеся уже более полувека. Широко используются эти аппараты для контроля качества и технической диагностики оборудования и трубопроводов атомных электростанций. Основные положения правил, которыми руководствуются контролирующие и надзорные организации, не учитывают факторы, связанные со специфическими условиями контроля, оказывающими влияние как на чувствительность, так и на производительность контроля.

Безусловно, первостепенное значение имеют технические характеристики импульсных рентгеновских аппаратов. Тем не менее, в ряде случаев контроля главную роль могут играть эксплуатационные характеристики аппаратов. К таким специфическим условиям можно отнести повышенную температуру металла, вибрацию, нахождение контролируемых участков в напряженном состоянии, повышенный радиационный фон.

В докладе выполнен анализ эксплуатационных характеристик ряда отечественных ИРА. К основным эксплуатационным характеристикам отнесены масса, габаритные размеры, срок службы, способы электропитания, а также некоторые специальные характеристики. Проведено сравнение этих характеристик для современных импульсных рентгеновских аппаратов. Требование мобильности и малых размеров рентгеновских аппаратов приобретает важное значение при контроле вертикальных стенок смонтированных газгольдеров, контроль теплообменников на атомных станциях. К подобным ситуациям относятся также регламентный контроль самолетов, таможенный контроль.

В ряде случаев кроме мобильности аппаратов требуется еще и возможность питания их от автономных источников: аккумуляторов или бензоэлектрических агрегатов. Например, это имеет место при контроле трубопроводов в полевых условиях, при проверке оставленных (подложенных) вещей и наличия взрывных устройств.

Проведенный анализ показывает, что эксплуатационные характеристики ИРА оказывают существенное влияние на эффективность контроля.

## АНАЛИЗ УГРОЗ РЕЖИМУ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ В НОВЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВАХ, НА ПРИМЕРЕ УКРАИНЫ

Д.А. Седнев

Томский политехнический университет

Распад СССР стал одним из самых серьезных вызовов режиму нераспространения ядерного оружия. Белоруссия, Казахстан и Украина встали перед серьезнейшим вопросом: «Быть или не быть стране ядерной державой?». Все они дали свой ответ на этот вопрос и отказались от громадного арсенала ядерного оружия, доставшегося им в наследство от распавшегося Советского Союза. Безусловно, процесс разоружения проходил уникальным образом в каждой из стран, но наиболее трагичен он оказался для Украины.

Этот процесс оказался трагичен по многим причинам, среди которых величина ядерного арсенала и желание обрести политическую значимость и независимость на мировой арене. Переговоры о разоружении Украины длились в общей сложности около двух лет [1]. Их итогом стал Будапештский меморандум, подписанный в 1994 году, в котором были закреплены гарантии безопасности Украине со стороны России, США, Франции, Великобритании и Германии в обмен на отказ Украины от советского наследия и присоединения к Договору о нераспространении ядерного оружия, в качестве государства, не обладающего ядерным оружием.

Сегодня некоторые политические силы Украины высказывают радикальные идеи относительно ядерного оружия: от призывов к пересмотру этого меморандума, как якобы доказавшего свою несостоятельность в ходе газовых кризисов с РФ и конфликта вокруг острова Коса Тузла, до ошибочности отказа от ядерного оружия и стремления вернуться в статус ядерной державы. Также в Украине, которая ведет политику, направленную на развитие атомной энергетике, идет смена курса сотрудничества с России на взаимодействие с западными компаниями, такими как Westinghouse или Ontario Power Generation. Высказываются идеи о создании собственного полного ядерно-топливного цикла.

В данной работе проведен анализ возможностей реализации ядерных амбиций Украины при различных сценариях развития атомной энергетики.

Список литературы

1. «Украина тоже хочет быть атомной», Алла Ярошинская, Информационное агентство Росбалт [www.rosbalt.ru](http://www.rosbalt.ru).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЙ ИЗОТОПОВ РАДОНА И ПРОДУКТОВ ИХ РАСПАДА

Я.В. Лужанчук, В.С. Яковлева, А.В. Вуколов

Томский политехнический университет

Экспериментальные и теоретические исследования пространственной и временной динамики атмосферных полей ионизирующих излучений (ИИ) разных видов проводятся не одно десятилетие, и их актуальность обусловлена многогранностью приложений в различных областях знаний. Например, поле бета-излучения в приземной атмосфере складывается из бета-излучений почвенных и атмосферных радионуклидов, в т.ч. бета-излучающих продуктов распада радона и торона. Разделение данных о полях излучения по разным компонентам – глобальная задача. Существенную помощь в интерпретации результатов может оказать комплексный подход к мониторингу, а именно регистрация по нескольким видам излучений, в сочетании с привлечением результатов теоретических исследований по вкладу радона, торона и продуктов их распада рассчитанному на единичную активность, в разные поля излучений. Решению последней задачи и посвящена данная работа.

В работе осуществлено моделирование выхода ионизирующего излучения (альфа, бета, гамма) за счет радона, торона и продуктов их распада при различных входных параметрах: коэффициент турбулентной диффузии  $D_t$ , плотность потока радона (ППР) и торона (ППТ). Для расчетов была написана программа в пакете "Mathematica". Анализ результатов показал, что вертикальный профиль полей ИИ радона, торона и продуктов их распада по разному реагируют на изменение текущего состояния атмосферы. На высоте 1 м наблюдается пропорциональное уменьшение выхода альфа, бета и гамма излучения  $R_n$  и его ДПР, например, с увеличением  $D_t$  в 10 раз выход ИИ уменьшается в 3.15 раз, для  $T_n$  и его ДПР уменьшение ИИ непропорционально. На высоте 12 и 25 м пропорциональность между  $D_t$  и выходом альфа, бете и гамма излучения  $R_n$  и его ДПР пропадает. Для  $T_n$  и его ДПР с увеличением  $D_t$  происходит непропорциональное уменьшение выхода всех видов излучения. Это связано с выравниванием профиля, т.е. выход ИИ становится относительно равномерным по высоте. Наблюдается пропорциональный рост выхода излучения с увеличением выхода радона и торона из грунта, например, с увеличением ППР в 10 раз выход ИИ на высоте 1 – 25 м увеличивается в 10 раз, аналогичная ситуация происходит если увеличивать ППТ.

*Работа выполнена при поддержке Аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы" № 2.1.1/544.*

## ПЛАН КОНВЕРСИИ РЕАКТОРА ВВР-К НА НИЗКООБОГАЩЕННОЕ ТОПЛИВО

Ф.М. Аринкин, Ш.Х. Гизатулин, А.Ж. Тулеушев, П.В. Чакров

Институт ядерной физики НЯЦ РК, г. Алматы

Перевод действующих исследовательских реакторов на топливо с ураном низкого обогащения (ниже 20% по урану-235) является важной составляющей международных усилий по снижению риска несанкционированного распространения высокообогащенного урана. При конверсии каждого конкретного реактора встает задача сохранения его основных экспериментальных и технологических возможностей. Для реактора ВВР-К Института ядерной физики НЯЦ РК эта задача решается путём использования ТВС нового типа с тонкостенными твэлами и применения эффективного бокового отражателя из бериллия.

План конверсии активной зоны ВВР-К можно условно разбить на три этапа: квалификация ТВС нового типа, реконструкция системы управления и защиты (СУЗ) и других устройств, физический и энергетический пуски реактора с низкообогащенным топливом в активной зоне.

Первый этап предусматривает разработку технического проекта новых ТВС, изготовление опытных восьмитрубных ТВС, разработку программы реакторных испытаний с анализом безопасности их проведения, получение разрешения надзорного органа на проведение испытаний, проведение испытаний до достижения среднего выгорания топлива ~ 60% с последующими послереакторными исследованиями.

Реконструкция СУЗ предполагает переход на однотипные каналы рабочих органов компенсации реактивности и аварийной защиты, разработку технического проекта, изготовление и установку современной аппаратурной части СУЗ, модернизацию основного и резервного пультов управления реактора.

На третьем этапе планируется разработка и согласование нового отчета по анализу безопасности реактора, экспериментальное изучение основных параметров активной зоны на критическом стенде с целью подтверждения результатов проведенных ранее расчетных исследований, подготовка и согласование программ физического и энергетического пусков, проведение физического и энергетического пусков реактора, получение разрешения на эксплуатацию реактора с низкообогащенным топливом в активной зоне.

## УДЕЛЬНЫЕ АКТИВНОСТИ $\text{Th}^{232}$ , $\text{Ra}^{226}$ , $\text{K}^{40}$ , $\text{Cs}^{137}$ ВО МХАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ

Н.К. Рыжакова, Н.С. Рогова

Широко распространенные в природе сфагновые мхи издавна используются в медицинской практике для лечения фурункулов, глазных болезней, инфицированных ран, ревматизма, радикулита, артритов, заболеваний кишечника. Всеобщее признание получил сфагновый мох как великолепный перевязочный материал [1]. Сфагновый мох используется не только в медицинской практике, но и в качестве биоиндикатора атмосферных загрязнений. Несмотря на широкое применение в медицинских и экологических целях, какого-либо систематического изучения разных видов мха рода *Sphagnum* и влияния природно-климатических условий их обитания на содержание радионуклидов до настоящего времени практически не проводилось. Имеющиеся в литературе данные по содержанию  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  в сфагновых мхах отражают в основном динамику концентрации этих радионуклидов после глобальных выпадений в результате проведения ядерных испытаний. В наших исследованиях содержание  $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{Ra}^{226}$ ,  $\text{K}^{40}$ ,  $\text{Cs}^{137}$  измеряли с помощью полупроводникового гамма-спектрометра на основе германиевого детектора, помещенного в низкофоновую камеру. Погрешность измерений удельной активности составляла не более 15-20%. Объектами исследования являлись 21 вид растений рода *Sphagnum*. Для оценки влияния степени увлажненности мест произрастания мхов в качестве критерия использовано относительное среднеквадратичное отклонение удельной активности изучаемых радионуклидов. Для анализа влияния природно-климатических условий использован однофакторный дисперсионный анализ. На основе измеренных удельных активностей и проведенного статистического анализа можно сделать следующие выводы: при использовании сфагновых мхов в экологических и медицинских целях природно-климатические условия, в том числе и степень увлажненности мест произрастания, а также виды мхов не оказывают существенного влияния на содержание исследуемых радионуклидов. Основным фактором, влияющим на содержание  $\text{Cs}^{137}$ , является удаленность территории произрастания от источников загрязнения. Во мхах вида *S. angustifolium*, *S. balticum*, *S. capillifolium*, *S. fallax*, *S. fuscum*, *S. girgensohnii*, *S. magellanicum*, *S. papillosum* содержание радионуклидов не превышает среднего значения. Наибольшими аккумуляционными способностями по отношению к радионуклидам  $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{Ra}^{226}$ ,  $\text{K}^{40}$  и  $\text{Cs}^{137}$  обладает мох вида *S. russowii*.

### Список литературы

1. Подтероб А.П., Зубец Е.В. //Химико-фармацевтический журнал. 2002.Т.36. №4. С. 27–29.

## МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ПУЧКОВ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ В ВОДНОМ ФАНТОМЕ С ПОМОЩЬЮ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ GAFCHROMIC EВТ

А.Р. Вагнер, Е.С. Куликова

Томский политехнический университет

На сегодняшний день состояние практической радиотерапевтической службы России можно оценить следующим образом: в России лучевую терапию получают менее 30% онкологических больных, в развитых странах 70% имеется около 130 отделений лучевой терапии, техническое оснащение 90% которых находится на очень низком уровне, отставая от развитых стран на 20 - 30 лет, ошибка в отпуске дозы из-за недостаточного уровня диагностической аппаратуры и применяемых методик планирования составляет 30%, вместо допустимых 5%. Онкологические диспансеры практически не оснащены аппаратурой (отвечающей требованиями гарантии качества) для предлучевой топометрической подготовки, дозиметрическим оборудованием, фиксирующими устройствами, компьютеризированными аппаратами для отливки формирующих блоков и т.д. Из приведенных данных следует, что основные фонды отечественной лучевой терапии практически полностью состарились, что неизбежно приводит к ухудшению качества лечения и дискредитации метода. Лучевая терапия в России находится на критически низком уровне. Жизненно важной задачей её развития является модернизация радиотерапевтической техники. Для улучшения качества дозиметрических измерений излучения аппаратов лучевой терапии предлагается разработанная методика диагностики пучков излучения для получения точных распределений доз и значений основных характеристик пучка. Данная методика основывается на анализе изменения оптической плотности полимерной пленки Gafchromic EВТ в зависимости от поглощенной дозы. Пленка Gafchromic EВТ является новым «материалом» дозиметрических измерений, основными преимуществами которой, является относительно высокая чувствительность к дозам в пределах от 1сГр до 800сГр (энергетический диапазон излучения составляет от 15 кэВ до 15 МэВ) и отсутствие процедуры проявки.

В работе представлены результаты калибровки пленки на источниках рентгеновского и гамма излучения, результаты апробации на пучках тормозного излучения бетатрона, микротрона и пучке рентгеновского излучения сильноточного ускорителя ГИН. Также в работе представлена методика измерения распределения поглощенной дозы в водном фантоме с использованием полимерной пленки.

## ОЦЕНКА ВКЛАДА РАДИОНУКЛИДОВ РЕАКТОРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В РАДИАЦИОННУЮ ОБСТАНОВКУ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО УРАНА НА ОАО «НЗХК»

М.Н. Черномордов<sup>1</sup>, Ю.В. Ткачев<sup>1</sup>, С.В. Степанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Новосибирский завод химконцентратов»

<sup>2</sup>ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

С 2008 года на ОАО «НЗХК» началась переработка регенерированного урана, с целью получения из него порошка диоксида урана для производства таблеток ядерного керамического уран-эрбиевого топлива для энергетических реакторов типа РБМК. Поскольку работа ведется на действующем оборудовании появилась необходимость оценки изменения радиационной обстановки на всех этапах переработки регенерированного урана.

Регенерированный уран отличается от традиционного сырья следующим:

- наличием радионуклидов реакторного происхождения;
- более высоким содержанием урана-234;
- наличием осколков деления.

Основными факторами, определяющими радиационную опасность регенерированного урана, являются повышенное содержание урана-234 и продукты распада урана-232 (в основном торий-228). Содержание этих радионуклидов определяет уровни внешнего и внутреннего облучения. Содержание изотопов урана на всех этапах переработки не изменяется. Исключением являются продукты распада урана-232, содержание которых увеличивается со временем и приводит к увеличению уровней мощностей доз гамма-излучения от сырья, полупродуктов, готовой продукции. Таким образом, обеспечение радиационной безопасности при обращении с регенерированным ураном является важной составляющей всего технологического процесса. В связи с этим проведены исследования, направленные на оценку вклада радионуклидов реакторного происхождения в радиационную обстановку на рабочих местах и их влияние на окружающую среду.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРЫ И ЛИТОСФЕРЫ НА ВЕЛИЧИНУ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДОНА И ТОРОНА С ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

В.С. Яковлева

Томский политехнический университет

Величину плотности потока радона с поверхности грунта исследуют для решения задач радиоэкологии, геоэкологии при оценках радонового потенциала территории, а также в ядерной климатологии для изучения движения воздушных масс. Позже, эту величину стали использовать в целях прогнозирования напряженно-деформированного состояния земной коры. Известно, что излучение радона и продуктов его распада является сильным ионизатором воздуха, поэтому интерес к величине плотности потока радона проявляется также и со стороны физики атмосферы. Торон и продукты его распада могут вносить сопоставимый с радоном, а при некоторых условиях даже больший, вклад в ионизацию приповерхностного слоя атмосферы, что является существенным аргументом в пользу обоснованности изучения его потоков. В работе проведено исследование изменения плотности потока радона и торона с поверхности земли при различных метеорологических условиях, а также в зависимости от изменения физико-геологических характеристик поверхностных грунтов. Изменение состояния атмосферы и литосферы моделировали изменением скорости адвекции и коэффициента диффузии радона и торона в грунте. Здесь было учтено, что изменение вертикальных градиентов температуры и давления, турбулентности приземной атмосферы, а также напряженно-деформированного состояния земной коры влияет на скорость адвекции почвенных газов. Осадки, которые приводят к повышению влажности грунта, и изменение температурного режима, соответственно, влияют на коэффициент диффузии почвенных газов. Из физико-геологических характеристик рассмотрены следующие: плотность, пористость грунта, удельные активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , коэффициент эманирования радона и торона. Расчеты произведены по диффузионно-адвективной модели переноса радона в пористых средах.

Анализ расчетов показал, что плотности потоков радона и торона с поверхности земли по разному реагируют на изменение погодных условий, что связано с различием в физических свойствах изотопов радона, которые определяют потенциальные различия в закономерностях переноса радона и торона на границе системы "атмосфера-литосфера".

*Работа выполнена при поддержке Аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы" № 2.1.1/544.*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА РАДОНА, ТОРОНА И ПРОДУКТОВ ИХ РАСПАДА В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

В.С. Яковлева

Томский политехнический университет

Переносу радона и продуктов его распада внутри помещений посвящено гораздо больше работ, чем переносу в приземной атмосфере. Это связано с тем, что радон, его изотопы и продукты распада рассматривают прежде всего как опасный фактор риска повышенного внутреннего облучения. В основном, в моделях переноса радионуклидов внутри помещений учитывают процессы диффузии, радиоактивного распада и осаждения на различных поверхностях, иногда учитывают турбулентность атмосферы помещений введением коэффициента турбулентной диффузии, скорость воздухообмена помещения. Процессы переноса и удаления радионуклидов в приземной атмосфере намного разнообразней. На перенос радионуклидов оказывают влияние ветер, прохождение осадков, циклонов, характерна резкая смена погодных условий. Атмосфера приземного слоя и помещений различаются по многим характеристикам, в т.ч. разным составом и распределением аэрозольных частиц по размерам. Линейный размер аэрозолей влияет на коэффициент диффузии, а следовательно, и на их поведение в атмосфере. Заряд радиоактивных аэрозолей также влияет на характер их поведения в атмосфере. В итоге, характеристики переноса продуктов распада радона и торона в приземной атмосфере сильно зависят от их физического состояния (свободные или связанные, т.е. присоединенные к нерадиоактивным аэрозольным частицам) и заряда (ионы или нейтральные атомы), а также от состояния и изменчивости приземной атмосферы, литосферы и факторов космической погоды.

Не все характеристики переноса изотопов радона и продуктов их распада хорошо изучены на настоящий момент. Моделирование распределения радона, торона и продуктов их распада совместно с проведением многофакторных экспериментов позволит изучить закономерности переноса радионуклидов и уточнить коэффициенты модели.

В работе описана разработанная математическая модель нестационарного переноса изотопов радона и продуктов их распада в атмосфере, включающая систему из 11 дифференциальных уравнений с непостоянными коэффициентами, приведено решение частных случаев.

*Работа выполнена при поддержке Аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы" № 2.1.1/544.*

## ТЕРРОРИЗМ В ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ (ЯТЦ)

Ф.П. Кошелев, О.В. Селиваникова, А.И. Ситдикова, А.А. Кушнеревич

Главной особенностью террористической активности в мире в последние годы стал ее беспрецедентный рост. Актуальность исследований подтверждается проведенным в апреле 2010 г. в Вашингтоне саммитом по ядерной безопасности.

Страны участницы определили различные пути по предупреждению попадания в руки террористических организаций оружия массового уничтожения. Лидерами было заявлено о своей решимости бороться с ядерными угрозами и за четыре года обеспечить безопасность уязвимых ядерных материалов. Кроме того, российской делегацией был распространен меморандум о физической ядерной безопасности. Ядерный терроризм (ЯТ) является одной из разновидностей терроризма с применением оружия массового уничтожения, хотя и наименее вероятной но при этом наиболее опасной с точки зрения совокупности последствий (политических, военных, социальных, экологических, психологических).

В связи с этим существенно важным представляется изучение самого понятия ядерного терроризма, его типов, возможностей террористов, оценка риска, объединение и структурный анализ правовых и технических аспектов различных мер противодействия угрозе ядерного терроризма в целях сохранения и развития режима ядерного нераспространения. Совместное рассмотрение данных аспектов проводится на основе идеи их тесного взаимодействия и взаимопроникновения.

Настоящая работа представляет собой обобщение и тщательный анализ отечественных и зарубежных информационных источников, рассматривающей угрозу ядерного терроризма и вероятность ее осуществления, а также разнообразные виды деятельности, несущие в себе элементы противодействия данной угрозе.

В докладе рассмотрены основные типы ядерного терроризма, проведены оценка и анализ научно-технических предпосылок создания ядерного взрывного устройства, проанализирована возможность хищения ядерных материалов на основных стадиях ЯТЦ, рассмотрены вероятные диверсии на АЭС (или угрозы их осуществления). На основании вероятностной оценки безопасности проведены предварительные расчеты уязвимости АЭС к аварии с потерей теплоносителя в результате террористического акта. Показано, что защитные системы внешней и внутренней защиты реактора и его свойства внутренней самозащищенности являются практически непреодолимым барьером на пути ядерного террора. На основании выводов экспертов и специалистов в мире и России представлен и проанализирован комплексный подход к защите ЯТЦ от возможности изъятия делящихся материалов.

## ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА РАДОНА ЧЕРЕЗ ПОЧВОГРУНТЫ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Н.К. Рыжакова

Изучение процессов переноса радона через почвогрунты связано с решением ряда важных задач. Радиоактивный газ радон (без цвета, вкуса и запаха; в 7.5 раз тяжелее воздуха; мощный природный альфа-излучатель с периодом полураспада 3.8 суток) выделяется из грунтов и может накапливаться в помещениях, что представляет опасность для людей, особенно проживающих на нижних этажах. Хорошо развитые методы детектирования излучения позволяют использовать радон как оптимальный индикатор при проведении различных геологических и геотехнических исследований, например, при поиске радиоактивных руд и прогнозировании сейсмоактивности территорий. Для решения выше перечисленных задач широко используется метод математического моделирования переноса радона через пористые среды. В силу сложности и многообразия процессов переноса при моделировании используют полуфеноменологический подход, когда пористую дисперсную среду заменяют сплошной средой, а геофизические свойства грунтов и механизмы переноса описывают с помощью эффективных параметров.

Наиболее известны диффузионная и диффузионно-конвективная модели, практическое использование которых затруднено из-за неоднозначного толкования физической сущности параметров моделирования и, как следствие, из-за проблем с выбором методов их определения [1].

В работе рассмотрены методы определения основных параметров моделирования - эффективных коэффициентов эманирования и диффузии. Показано, что физический смысл, а, следовательно, и величина параметров зависит от метода измерения. Параметры, используемые при моделировании переноса радона через почвогрунты, предлагается рассматривать как эмпирические и определять их в конкретных геологических и природно-климатических условиях по измеряемой на опыте величине - объемной активности радона в воздухе пор грунта. Описан разработанный автором метод определения эффективных параметров, основанный на измерении объемной активности радона в воздухе пор грунта на двух, отличающихся в два раза, небольших глубинах. Приведены результаты измерения эффективных параметров для глинистых грунтов г. Томска, проведен их анализ.

Список литературы

1. Рыжакова Н.К. К вопросу о моделировании переноса радона через пористые среды// Геоэкология. 2009. №1. С. 80 – 84.

## ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ В РАДИАЦИОННОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

В.Л. Орлов, А.В. Орлов, М.А. Гумиров

Алтайский государственный технический университет  
Югорский государственный университет

Теоретический анализ на основе линейной термодинамики прекрасно зарекомендовал себя при объяснении целого ряда явлений радиационного материаловедения (ускорение диффузии, порообразование, радиационная ползучесть и т.п.). Однако, до настоящего времени считается, что такой анализ неприменим для наноразмерных объектов и для быстропротекающих процессов. Причина такого мнения заключается в кажущейся невозможности введения областей локального равновесия.

Область локального равновесия должна быть малой и, в то же время включающей в себя достаточное для записи статистических соотношений количество элементов (атомов). С точки зрения классической физики существование таких областей представляется спорным. Однако, существуют указания на то, что термодинамика хорошо работает для частиц малых размеров (до 1 нм) и для достаточно быстрых процессов.

По мнению авторов доклада, причина существующего разногласия заключается в ошибочности широко распространенного представления о том, что движение атома кристаллической решетки может описываться с позиций классической механики. Известны научные школы, обилеи поток публикаций и защит диссертаций, связанных с, так называемой, молекулярной динамикой. При ближайшем же рассмотрении оказывается, что молекулярная динамика игнорирует целый ряд твердо установленных экспериментальных фактов и является, по сути, научной спекуляцией.

Колебательные движения атомов в узлах кристаллической решетки, диффузионные перескоки атомов и т.п. должны рассматриваться только с квантовомеханических позиций. В этом случае существенным образом изменяются представления об областях локального равновесия, появляется возможность расширения границ применимости линейной термодинамики в область наночастиц и в область быстропротекающих радиационных процессов.

Авторам доклада удалось, используя теоретический анализ, базирующийся на представлениях линейной термодинамики объяснить закономерности радиационного порообразования, стабильность нанокристаллических зерен, формирование нанопериодических структур и т.п. Рассматриваются закономерности радиационных процессов в металлических системах при воздействии на них пучков заряженных частиц в течение коротких промежутков времени.

## СОПОСТАВЛЕНИЕ ВКЛАДОВ РАДОНА И ТОРОНА В СУММАРНУЮ ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА АЛЬФА- И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЙ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

А.В. Хамраева, В.С. Яковлева, А.В. Вуколов

Контроль за радиоактивностью окружающей среды является одной из приоритетных направлений развития науки. Для осуществления контроля за гамма-излучением наиболее эффективна система АСКРО, функционирующая во многих регионах России. Контроль полей бета- и альфа-излучений практически отсутствует. Это объясняется, во многом, тем, что бета- и альфа-излучения несут информацию с меньших участков, по сравнению с гамма-излучением, и являются более локальными информаторами. Однако, при исследовании региональных особенностей динамики атмосферы и ее электрических свойств, является особенно важной информация о локальных вариациях полей ионизирующих излучений (ИИ), которую несут альфа- и бета-излучения.

При исследовании полей ИИ необходимо разделять вклады от различных источников, которыми являются атмосферные и почвенные радионуклиды. С целью выявления основных источников атмосферных альфа- и бета-полей была произведена оценка вкладов радона, торона и дочерних продуктов распада в суммарную плотность потока альфа- и бета-излучений на различных высотах.

В работе произведены оценки вертикального профиля полей ионизирующих излучений, формирующихся при распаде радона, торона и продуктов распада, находящихся в приземной атмосфере. Предварительно была собрана информация о выходе альфа и бета частиц на один распад ядра для соответствующих радионуклидов. Вертикальные профили полей ионизирующих излучений рассчитаны для различных значений величины плотности потока радона и торона, выходящих из грунта. Оценено потенциальное влияние величины коэффициента турбулентной диффузии ( $D_t$ ) на вертикальный профиль атмосферных полей ионизирующих излучений. А также, сопоставлены вклады радона и торона в суммарную плотность потока альфа и бета-излучений на различных высотах.

Вклад радона и торона в суммарную плотность потока альфа-излучения сильно зависит от высоты над поверхностью земли. Например, на высоте 2 м вклад радона и торона при  $D_t=0,001 \text{ м}^2/\text{с}$  составляет, соответственно, 53% и 47%, а при  $D_t=0,5 \text{ м}^2/\text{с}$  на высоте 0,5 м - 16% и 84%. Вклад радона и торона в суммарную бета активность на высоте 0,5 м составляет, соответственно, при  $D_t=0,001 \text{ м}^2/\text{с}$  – 96% и 4%, а при  $D_t=0,5 \text{ м}^2/\text{с}$  – 75% и 25%.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП г/к № 02.740.11.0738.*

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НА ДИНАМИКУ РАДОНОВОГО ПОЛЯ

И.А. Привалова, В.С. Яковлева, П.М. Нагорский, А.В. Хамраева,  
Д.А. Плужникова, И.А. Куликова

Томский политехнический университет

Перенос радона в приземной атмосфере изучают с неослабевающим интересом и по сей день. Актуальность радоновой тематики обусловлена с одной стороны прекрасными индикаторными свойствами радона, как радиоактивного газа, что активно используется в области геофизики и физики атмосферы, и с другой стороны – интересом к нему, как к потенциально опасному фактору, со стороны радиационной экологии.

Данная работа посвящена исследованию влияния метеорологических величин на динамику приземного радонового поля. Одной из задач работы было моделирование вертикального переноса радона, торона и продуктов их распада в приземном слое атмосферы, с последующим уточнением коэффициентов модели путем сравнения с экспериментальными данными, полученными в ходе многофакторного эксперимента ИМКЭС-ТПУ, г. Томск. Для моделирования была решена система дифференциальных уравнений, описывающих динамику изменения активности радона, торона и продуктов их распада, с помощью программного комплекса Mathematica при разных параметрах, в частности, коэффициентах турбулентной диффузии, плотностей потока радона и торона.

Результаты моделирования показали, что объемная активность радона и его продуктов распада уменьшается, с увеличением высоты над поверхностью земли, с увеличением коэффициента турбулентной диффузии объемная активность радионуклидов уменьшается, коэффициент турбулентной диффузии, равный  $0,1 \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$ , наиболее соответствует экспериментальным данным, согласно которым объемная активность радона меняется в диапазоне от 1 до  $10 \text{ Бк/м}^3$ .

В работе представлены результаты измерений объемной активности радионуклидов за весенний и осенний периоды. Проведена корреляция между измеренными величинами и метеорологическими параметрами, такими как атмосферное давление, температура, влажность и другие. Динамика радонового поля зависит от многих величин, и четко проследить влияние конкретного параметра представляется сложной практической задачей.

*Работа выполнена при поддержке Аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы" № 2.1.1/544.*

## ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ РАДИЯ, ЦЕЗИЯ, ТРИТИЯ В ВОДОЕМЕ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

И.А. Куликова, А.В. Шонохов

Томский политехнический университет

Атомная энергетика уже давно получила широкое распространение во всем мире. Использование энергии атома в промышленности имеет большие перспективы. Однако большую озабоченность и внимание общественности и специалистов при использовании ядерной энергии вызывает потенциальная опасность радиационных аварий, которая может сопровождаться выбросом значительной активности радионуклидов в окружающую среду. Таким образом, при получении энергии на атомных станциях особое внимание уделяется защите населения, персонала и окружающей среды от воздействия ионизирующего излучения. Для этого ведётся регулярный мониторинг радиационной обстановки окружающей среды, в том числе и водной.

Как правило, в России используются реакторы типа ВВЭР и РБМК. Однако на одной АЭС в России (Белоярская АЭС (БАЭС)) функционирует реактор типа БН (реактор на быстрых нейтронах). Использование реакторов типа БН является очень многообещающим в развитии атомной энергетики, поскольку они являются наиболее «чистыми» из всех видов реакторов, а также позволяют использовать в качестве топлива оружейный плутоний, наработанный ранее в значительных объёмах. В рамках охранных мероприятий на Белоярской АЭС контролируется водная среда Белоярского водохранилища и прилегающих рек.

С целью исследования радиоактивной обстановки территории БАЭС в данной работе была составлена карта радиоактивности окружающей местности и проводился контроль радиоактивности трития. Методика контроля заключалась в отборе проб на месте и их лабораторном измерении. Контроль проводился радиохимическим анализом и радиометрическим замером по стандартным методикам. Анализ результатов показал, что за время наблюдения повышенного содержания трития в водной среде отмечено не было.

Результаты проводимых измерений позволили сделать вывод, что в штатном режиме работы Белоярская АЭС практически не оказывает влияния на радиоактивное загрязнение окружающей среды тритием.

УДК 621.039.743+621.039-78



## ПРОЕКТ ХРАНИЛИЩА РАО НОВОГО ТИПА

М.Е. Тихоненко<sup>1</sup>, Н.А. Мячин<sup>2</sup>, О.Я. Мазина<sup>2</sup>, К.А. Щукин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирское отделение филиала “СТО” ФГУП “РосРАО”

<sup>2</sup>Филиал ОАО ИСК “Атомстрой” ТПИИ “ВНИПИЭТ”

В рамках реализации ФЦП “Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года” для Новосибирского отделения “СТО” филиала ФГУП “РосРАО” разработан проект хранилища РАО. Хранилище предназначено для хранения РАО низкой и средней активности в железобетонных контейнерах типа НЗК-150-1,5П и НЗК-Радон, требующих дополнительной биологической защиты. Спроектировано “пилотное” хранилище открытого типа для временного хранения РАО низкой удельной активности в транспортных железобетонных контейнерах типа НЗК-150-1,5П и НЗК-Радон с дополнительной герметизацией крышек контейнеров.

Главная отличительная особенность спроектированного хранилища по сравнению с имеющимися хранилищами РАО состоит в том, что данное хранилище РАО является обслуживаемым. При этом процесс хранения РАО впервые станет контролируемым и управляемым. Прямой доступ к контейнерам с РАО позволит мобильно их заменять: хранящиеся РАО отправлять на переработку и принимать новые РАО на хранение. В связи с данным обстоятельством встает вопрос о конструктивном изменении выпускаемых в настоящее время невозвратных железобетонных контейнеров (НЗК): разработке новых железобетонных контейнеров, допускающих несколько циклов заполнения-опорожнения РАО. Применение таких контейнеров позволит значительно снизить затраты на хранение РАО.

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ МОДЕЛИ В НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

А.А. Нестеренко

Томский политехнический университет

Лучевая терапия (ЛТ) широко применяется в медицине для лечения злокачественных новообразований. Существуют различные виды ЛТ в зависимости от типа ионизирующего излучения. В настоящее время в целях ЛТ наиболее массово используется  $\gamma$ -терапия. Принимая во внимание особенности взаимодействия плотноионизирующих излучений с веществом, возможны некоторые преимущества применения нейтронной терапии. Для планирования терапии разработаны эмпирические модели оценки эффекта облучения: концепция «Номинальная Стандартная Доза» (НСД), «Фактор Время-Доза-Фракционирование» (ВДФ), Линейно-квадратичная модель (ЛКМ). Наибольший интерес представляет ЛКМ, с помощью которой можно оценить эффект облучения различных типов ткани отдельно для ранних и поздних реакций ткани на облучение при правильном выборе ее радиобиологических параметров, что невозможно для других моделей. Параметры приведены в литературе для  $\gamma$ -терапии [1]. Для n-терапии такой информации не опубликовано. Предлагается способ нахождения параметров для планирования n-терапии. Произведен пример расчета параметров ЛКМ в n-терапии для ткани типа кожа и ранних реакций. По различным моделям оценен биологический эффект от облучения. В результате сравнения, аналитическая зависимость относительной биологической эффективности (ОБЭ) от дозы, рассчитанная по ЛКМ удовлетворительно согласуется с зависимостью ОБЭ от дозы по другим моделям, которые широко применяются для нейтронной терапии. Из этого следует интерес применения ЛКМ для нейтронов в планировании фракционированных режимов облучения

### Список литературы

1. Линейно-квадратичная модель в расчетах изоэффективных доз, в оценке противоопухолевого эффекта и лучевых реакций и осложнений при лучевой терапии злокачественных опухолей. Пособие для врачей / Под ред. А. С. Павлов, М. А. Фадеева. – Москва.: Издательство, 2005. 67с.
2. The assessment of RBE effects using the concept of biologically effective dose. Roger G. Dale, Ph.D., FIPEM, and Bleddyn Jones, FRSP, FRCR, 1998.
3. Лисин В.А. Теоретическое исследование зависимости ОБЭ быстрых нейтронов от дозы для кожи и соединительной нормальной ткани человека. Томск, 1986.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ Г.ТОМСКА С ПОМОЩЬЮ ЭПИФИТНЫХ МХОВ

А.Г. Чайка, Н.К. Рыжакова, Н.С. Рогова

В последнее время перед человечеством весьма остро встала проблема загрязнения окружающей среды. К наиболее опасным загрязнителям окружающей среды относятся тяжелые металлы. Важную роль в контроле состояния окружающей среды играют растения, которые обладают высокой чувствительностью к негативным процессам, протекающим в окружающей среде под действием загрязняющих веществ [1]. Одним из оптимальных тест-объектов нарушения экосистем при техногенном воздействии через атмосферу являются мхи, имеющие широкое распространение, высокую встречаемость, продолжительный жизненный цикл и характеризующиеся значительными аккумуляционными способностями. В исследованиях использованы эпифитные мхи, произрастающие на коре осин, тополей. Эпифиты обладают важным преимуществом - они не соприкасаются с почвой и поэтому на них не сказывается воздействие загрязнения, аккумулированного в почве. Данные виды мхов позволяют исследовать и контролировать состояние атмосферы на городских территориях.

Мониторинг загрязнения атмосферы города Томска актуален в связи с тем, что основная часть промышленных предприятий расположена в черте города. В исследованиях загрязнения территорий использовался метод нейтронно-активационного анализа, с помощью которого определяли содержание 27 химических элементов. Наибольший интерес представляют: Co, Fe, Cr, Sb, Zn, Ce, Th, Cs, так как они активно выбрасываются в атмосферу предприятиями г. Томска и к тому же являются наиболее токсичными. Показано, что вблизи ГРЭС и ТЭЦ значения концентраций по данным химическим элементам, полученных во мхах, превышают фоновые значения в 3–4 раза. В окрестности ТЭМЗ и ТЭЛЗ наблюдаются превышения фонового уровня в 2–3 раза. Значения концентраций химических элементов вблизи предприятия Сибкабель превышают в 2–3 раза с северо-восточной стороны предприятия. Были исследованы несколько жилых кварталов: район Черемошники, район четвертой горбольницы, и два жилых квартала в западной части Советского района. В этих частях города концентрации химических элементов совпадают с фоновыми значениями или незначительно их превышают.

### Список литературы

1. Е. В. Ермакова, М. В. Фронтасьева, Э. Стейннес Изучение атмосферных выпадений тяжелых металлов и других элементов на территории Тульской области с помощью метода мхов-биомониторов. Дубна, 2002.

## ЯДЕРНОЕ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ СТУДЕНТА ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

Г.С. Зиновьев

Новоуральский технологический институт НИЯУ МИФИ  
e-mail: zgs@nsti.ru

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности является одной из основных функций, возложенных государством на госкорпорацию «Росатом». Новоуральский технологический институт является одним из вузов Национального исследовательского ядерного университета МИФИ (НИЯУ МИФИ) и осуществляет свою образовательную деятельность по подготовке специалистов для атомной отрасли в соответствии с основными задачами «Росатома».

Подготовка высококвалифицированных специалистов требует не только усиления у студентов заинтересованного отношения к изучению проблем нераспространения и разоружения, собственно преподавания курсов лекций [1]. Получение знаний или сведений абсолютно не гарантирует их сохранение, развитие и распространение. В связи с этим возникает задача совершенствования системы хранения и распространения «ядерных» знаний, повышения уровня «культуры ядерной безопасности» [2].

При создании профессиональной компетенции специалиста, прежде всего научная деятельность выступает как среда, требующая непрерывного накопления сведений и вовлечения новых сведений в практику. С целью повышения исследовательской, научной активности студентов и усиления интереса к проблемам ядерного нераспространения и безопасности в вузе должны осуществляться УИРС и НИРС по данной тематике. Результатами выполнения этих работ традиционно являются выступления на семинарах и конференциях различного уровня, публикации статей, эссе и т.д.

С развитием информационных технологий перспективным представляется сетевое взаимодействие в области нераспространения ведущих технических вузов России, организованное, например, в рамках единого Интернет-портала.

### Список литературы

1. United Nations study on disarmament and non-proliferation education, UN General Assembly, Report of the Secretary-General, A/57/124, 30 August 2002.
2. Nuclear security culture: implementing guide. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2008.

## ФУНКЦИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В ВОЗДУХЕ, ФОРМИРУЮЩЕЙСЯ ПОЧВЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ

В.В. Зукау, В.Д. Каратаев, В.С. Яковлева

Томский политехнический университет

В работе представлены модельные оценки вертикального профиля мощности поглощенной дозы атмосферы, созданной распадом почвенных радионуклидов. Моделирование проведено методом Монте-Карло с использованием программы КЛ/PCLab [1], разработанной в ТПУ. Программа позволяет моделировать процессы распространения электронов, позитронов, фотонов в веществе и вычислять характеристики поля ионизирующего излучения. При моделировании учитывалось вторичное излучение и каскадный характер распространения излучения. Для проведения расчетов, на основе данных МКРЗ 38 [2] и каталогов радионуклидов [3], была создана библиотека из 40 основных радионуклидов, повсеместно присутствующих в грунтах. С помощью КЛ были рассчитаны функции распределения поглощенной дозы для каждого из радионуклидов.

Сопоставление данных моделирования с оценками, полученными на основе экспериментальных данных [4,5], показало хорошее согласие для радионуклидов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Для удобства дальнейших пересчетов в каждом конкретном случае расчеты проведены на единичную активность 1 Бк/кг. Полученные значения мощности поглощенной дозы, рассчитанной на активность 1 Бк/кг, могут быть использованы для практических оценок (в т.ч. и для дозовой нагрузки на население):  $^{40}\text{K}$  – 0.141;  $^{137}\text{Cs}$  – 0.845;  $^{232}\text{Th}$  – 0.136;  $^{235}\text{U}$  – 0.467 и  $^{238}\text{U}$  – 2.58 мкГр/год.

*Работа выполнена при поддержке Аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы" № 2.1.1/544.*

### Список литературы

1. Беспалов В.И. Пакет программ ЕРНСА для статистического моделирования поля излучения фотонов и заряженных частиц // Изв. вузов Физика. Приложение. 2000. № 4. С. 159–165.
2. Программа ICRP38: <http://ordose.ornl.gov/>.
3. BetaSpecALL FINAL3.xls: <http://www.doseinfo-radar.com>.
4. Эргашев Д.Э. Метод определения естественного и техногенного урана в объектах окружающей среды : Дис. ... канд. физ.-мат. Наук. Томск: ТПУ. 2004. 221с.
5. Крисюк Э.М. и др. Дозы облучения населения. Гигиена и санитария. 1984. №5. С. 63–66.

## ВЫСОТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ИОНИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ БЕТА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ ПОЧВЕННЫХ И АТМОСФЕРНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

В.В. Зукау, В.С. Яковлева, В.Д. Каратаев, П.М. Нагорский

Томский политехнический университет

В работе проведено изучение вертикального профиля плотности ионизации приземной атмосферы, обусловленной взаимодействием гамма- и бета-излучений продуктов распада радона и торона, присутствующих в приземной атмосфере а также почвенными радионуклидами. Результаты работы планируется использовать для дальнейших оценок вклада гамма- и бета-излучения атмосферных и почвенных радионуклидов в суммарную плотность ионизации приземной атмосферы.

Для моделирования был выбран метод Монте-Карло и программа PCLab [1]. Расчеты проведены в цилиндрической геометрии. Расчеты проведены на единичную объемную активность радионуклидов для удобства дальнейших пересчетов.

Для анализа влияния турбулентности атмосферы на вертикальный профиль плотности ионизации в качестве входных параметров были использованы рассчитанные в программе "Mathematica 6.0" распределения объемной активности радона и торона в приземной атмосфере при разных значениях коэффициента турбулентной диффузии. Краевые условия задавали средними типичными для суглинков значениями плотности потока радона и торона с поверхности грунта, равными  $10 \text{ мБк м}^{-2}\text{с}^{-1}$  и  $1 \text{ Бк м}^{-2}\text{с}^{-1}$ , соответственно.

Анализ результатов моделирования показал, что вклад радона и торона в значительной степени определяется турбулентностью атмосферы, которая влияет на распределение их активности по высоте. При слабой турбулентности (спокойная атмосфера) вклад радона в ионизацию атмосферы больше, причем отмечается сильная ионизация у поверхности земли. С усилением вихревых процессов в атмосфере, концентрация радона начинает выравниваться по высоте, сильно изменяя профиль плотности ионизации. Для торона наблюдается аналогичная закономерность.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП № 02.740.11.0738.*

### Список литературы

1. Беспалов В.И. Пакет программ ЕРНСА для статистического моделирования поля излучения фотонов и заряженных частиц // Изв. вузов Физика. Приложение. 2000. № 4. С. 159–165.

## ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОНУКЛИДА I-125 В ПЕТЛЕВОМ УСТРОЙСТВЕ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

В.В. Зукау, Г.Г. Глухов, Ю.С. Масленников

Научно-исследовательский институт ядерной физики

Изотопы йода, I-125, I-131 и I-132 нашли широкое применение в медицине [1, 2]. П. Харпер, Д. Уоррен и другие [3-5] утверждают, что использование I-125 для медицинских целей, является более выгодным. Эти преимущества вытекают из следующих свойств I-125. Период полураспада 60 суток. Он распадается за счет К-захвата с испусканием низкоэнергетических гамма-квантов (28-33 КэВ), поэтому радиационное поражение тканей локализуется непосредственно вокруг фармпрепарата. Для лечения используются ампулы с суммарной активностью I-125 около 300 мКи, которые вводят в опухоль пациента. При использовании I-125 дозная нагрузка на пациентов не велика из-за низкой энергии испускаемых гамма-квантов. У всех остальных радиоизотопов йода испускаются гамма-кванты значительно более высоких энергий.

Наработка I-125 проводится в потоке тепловых нейтронов по следующей реакции  $\text{Xe-124}(n,\gamma)\text{Xe-125}(EC)\text{I-125}$ , сечение захвата тепловых нейтронов для Xe-124 составляет около 130 барн. Однако, сам I-125 имеет большее сечение захвата около 990 барн, что приводит к его переоблучению и накоплению I-126. В связи с этим при традиционной (ампульной) наработке, после облучения Xe-124 приходится проводить длительную выдержку ампул, в течении которой I-126 распадается до приемлемого для медицины значения 0.005% от активности I-125.

Альтернативная технология позволяет сократить время получения I-125 и повысит его чистоту при получении. Результат расчета динамики накопления I-125 показал что при облучении газообразного ксенона в реакторной петле с плотностью потока  $6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$  в течении 100 часов, активность I-125 может достигать 700 мКи при 2.7% обогащении Xe-124, а отношение активности I-125 на фильтре к активности остальных изотопов около  $5 \cdot 10^5$  раз.

### Список литературы

1. Вестник «Атомпром», № 2, февраль 2008 г., стр. 18-21.
2. Бертел Е. Производство радионуклидов: состояние и тенденции. Атомная техника за рубежом. 2003, №8. С. 31.
3. Harper P. V., Warren M. D. //J. Nukl. Med. 4, 277-289 (1963).
4. Harper P. V., Siemens W. D. //Production and Use of Iodine-125 USA AEC, ACRCH-15, 76 (1961).
5. Porath M. B., Hochman A. Gross J. //J. Nukl. Med. 7, 88-98 (1966).

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ И ПЕРЕНОСА В АТМОСФЕРУ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ ИЗ ЛИТОСФЕРЫ

А.В. Вуколов<sup>1</sup>, И.И. Ипполитов<sup>2</sup>, М.В. Кабанов<sup>2</sup>, В.Д. Каратаев<sup>2</sup>,  
П.М. Нагорский<sup>2</sup>, С.В. Смирнов<sup>2</sup>, В.С. Яковлева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Для оценки влияния состояния и динамики приземного слоя атмосферы на потоки радона и торона с поверхности земли, атмосферные уровни радона, торона и дочерних продуктов распада, а также создаваемых ими ионизирующих излучений, в ИМКЭС и ТПУ был развернут параллельный мониторинг, основные задачи и детальная схема которого представлены в [1]. В 2009 г. были произведены разработка и установка оборудования, проведение мониторинговых исследований. Экспериментальная система была собрана на полигоне ИМКЭС и показала правильность выбора газоразрядных бета-счетчиков СБМ-19 в качестве основных элементов измерения.

Проведение и анализ данных мониторинга показал, что необходимо вести одновременный мониторинг потоков  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения на высотах 0.1, 5, 10 и 25 м в приземном слое атмосферы, на глубинах – 0.5, 1 и 5 м в почвенном слое, который позволит выявить различия в реакции полей излучений на отдельные внешние воздействия, а также выявить особенности переноса радиоактивных газов в неравновесной системе "приповерхностный грунт – приземная атмосфера".

При промерзании почвы или наличии на поверхности почвы льда радонообмен между почвой и атмосферой затруднен: радон в почвенном воздухе на небольших глубинах начинает накапливаться, а его активность – достигать равновесного значения. Для учета этого фактора, а также оценки неравномерных временных колебаний температуры активного слоя почвы и связанных с этим вариаций конвективного газообмена с атмосферой, были дополнительно размещены резисторные температурные датчики на поверхности почвы и на серии глубин (до 5 метров).

Поддержано проектами ФЦП № 02.740.11.0738 и СО РАН № VII.63.1.1.

### Список литературы

Яковлева В.С., Ипполитов И.И., Кабанов М.В. и др. Скоординированный многофакторный эксперимент по анализу процессов поступления почвенного радона в приземный слой атмосферы // АНРИ. 2009. № 4. С. 55-60.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС «GEORADON-КАМ» ПО ИЗУЧЕНИЮ ПЕРЕНОСА РАДОНА И ТОРОНА НА КАМЧАТСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

А.В. Вуколов, В.С. Яковлева, П.П. Фирстов, А.С. Зелинский

Радон один из лучших индикаторов при различных геологических исследованиях. Для мониторинга относительных изменений плотности потоков радона, на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне [1], установлен автоматизированный комплекс.

Результаты скоординированных экспериментов в процессе анализа дополняются текущими данными о космической погоде, распространяемых открыто в сети INTERNET. Одной из основных целей данного этапа работы являлась разработка измерительного комплекса, способного надежно работать в условиях резко континентального климата без участия оператора в течение длительного периода, порядка 1-2 месяца, от автономного источника питания, позволяющего получать временные ряды данных с большой частотой дискретизации.

Накопительная камера представляет собой цилиндрический сосуд из поливинилхлорида, заполненный 9/10 частей генератором радона, который представляет собой грунт. Электрические сигналы с детекторов передаются на накопительное устройство сбора информации (РЕВАР). Детектор СБТ-10 позволяет производить измерения бета и гамма излучения. Процесс накопления и проветривания камеры автоматизирован при помощи блока управления камерой, накопление длится в течении 40 минут и проветривание в течении 20 минут один измерительный цикл составляет 60 минут. По истечении некоторого времени оператором производится съем данных с накопительного устройства и в лабораторных условиях обрабатываются. Нами были разработаны три способа обработки данных получаемых с накопительной камеры:

1. Аппроксимация линейной зависимостью каждого отдельного участка накопления и построение временных диаграмм тангенса угла наклона аппроксимирующей линии плотности потока радона.
2. Алгоритм аппроксимации средним значением каждого отдельного участка накопления плотности потока радона
3. Алгоритм расчета значений сумм разностей фона от показаний накопления плотности потока радона.

Можно сделать вывод о наблюдении удовлетворительной зависимостью между показаниями измерения плотности потока радона и сейсмической активностью.

### Список литературы

1. Фирстов П.П., Рудаков В.П. // Вулканология и сейсмология. 2002. № 6. С. 26-41.

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УРАНА, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ КОДА MGAU

М.Е. Силаев, Ю.В. Недбайло

Томский политехнический университет

Статистическая обработка результатов анализов является одним из инструментов, позволяющих выявить влияющие на них факторы, характер влияния, а также выработать рекомендации для повышения качества анализов. Целью данной работы являлась статистическая обработка результатов анализа изотопного состава урана, полученных при использовании кода MGAU в сочетании со спектрометрическим трактом на основе LeGe детектора.

Экспериментальные данные были оценены с помощью дисперсионного анализа. Данный метод основан на сравнении дисперсий и применяется на практике для определения влияния различных факторов или их совокупности (комбинации) на изучаемую величину.

В работе использован многофакторный дисперсионный анализ. Исследовалось воздействие на результаты определения изотопного состава урана отдельных факторов и их совокупности. В качестве влияющих факторов были приняты: калибровка спектрометрического тракта, время набора спектра и геометрия измерений (расстояния между детектором и источником излучения).

На основании полученных данных был сделан вывод о том, что влияние перечисленных факторов на результаты определения изотопного состава урана не является значимым (не более 5 %) при условии поддержания низкого уровня статистической погрешности определения площади пика полного поглощения.

### Список литературы

1. Силаев М.Е., Кузнецов М.С., Шариков Д.А., Недбайло Ю.В. Особенности определения изотопного состава урана с помощью программы MGAU // Сборник тезисов докладов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А. Воробьева «Становление и развитие научных исследований в высшей школе», 2009.
2. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. – М: Высш.шк., 2000.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ  
ФГУП «КОМБИНАТ «ЭЛЕКТРОХИМПРИБОР»

О.В. Соловьёва

ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор», г. Лесной

В докладе рассматриваются вопросы организации радиационного контроля комбината:

- цели и задачи радиационного контроля (оценка доз облучения персонала и населения, определения состояния радиационной безопасности комбината, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения; разработка рекомендаций и проведения мероприятий по улучшению радиационной обстановки и защите персонала и населения от облучения; оптимизация защиты и принятие решений о вмешательстве в случае радиационных аварий);

- виды радиационного контроля (индивидуальный контроль облучения персонала, контроль радиационной обстановки в производственных помещениях, контроль радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения);

- документы, разработанные на комбинате, необходимые для осуществления радиационного контроля;

- объём и характер радиационного контроля в подразделениях комбината (объект контроля, место расположения точек контроля, контролируемые параметры, метод проведения контроля, периодичность контроля).

- Основные задачи ответственного за радиационную безопасность в подразделении.

Список литературы

- 1 СП 2.6.1.2523–09 Нормы радиационной безопасности (НРБ–99/2009)
- 2 СП 2.6.1.799–99 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99).
- 3 МР 2.6.1.27-03 Зона наблюдения радиационного объекта. Организация и проведение радиационного контроля окружающей среды.
- 4 МР 30-735 Определение численности персонала служб радиационной безопасности.
- 5 СТП Ж92 140-2009 Регламент обеспечения радиационной безопасности ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор».

## ПРОГНОЗ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В СВЯЗИ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ФЦП ПО ИНТЕНСИВНОМУ РАЗВИТИЮ АТОМНОГО ЭНЕРГОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ И СИБИРСКОГО РЕГИОНА ДО 2020 ГОДА

А.Н. Валяев

Институт Проблем Безопасного Развития Атомной Энергетики, г. Москва

Принятие данной ФЦП обусловило актуальность проведения исследований по безопасной эксплуатации АЭС, обеспечивающей, безусловно, приемлемый риск для населения в районе ее расположения с учетом не только уже работающих энергоблоков (ЭБ), но и вводимых в эксплуатацию. Нами собраны, систематизированы и проанализированы данные по фактическим газоаэрозольным выбросам в атмосферу и жидким радиоактивным сбросам за длительный период эксплуатации всех АЭС РФ (1995-2008 гг.). Устойчивая тенденция снижения их уровней явилась базой для их достоверных прогнозных оценок для Курской, Кольской, Калининской, Волгодонской, Ленинградской, Смоленской и Нововоронежской АЭС по разработанной нами методике. Проанализировано ее использование для будущей Северской АЭС. При прогнозе среднегодовых концентраций радионуклидов и доз внешнего облучения учитывались вклады от радиоактивного облака, от поверхности, ингаляции и плотности выпадения радионуклидов за год. Расчеты проводились по разработанной в ИБРАЭ РАН моделирующей системы «Ностардамус» с использованием метеорологических данных по наблюдениям за последние 3 около каждой АЭС. Для всех АЭС в зоне наблюдения годовые максимальные индивидуальные дозы облучения лиц из критических групп населения от выбросов  $< 10$  мкЗв. Прогнозируемые дозы при вводе новых ЭБ оказались тоже  $< 10$  мкЗв. Консервативная оценка установившегося содержания радиоактивных веществ в водных объектах региона АЭС - водоемов охладителей, водохранилищ, озер и рек проводилась по созданной в ИБРАЭ модели «Кассандра». Прогнозные дозы от водопользования за счет потребления питьевой воды, рыбы, молока, мяса и овощей оказались  $< 10$  мкЗв, что обеспечивает приемлемый уровень рад. риска  $< 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>. Для сравнения приведем дозы облучения населения от природных источников облучения для различных регионов РФ: в Республике Алтай 9,1 мЗв/год, в Северной Осетии 5,8 мЗв/год, в Челябинской области 5,3 мЗв/год, которые на порядки превышают дозы облучения от сбросов и выбросов АЭС. Полученные данные целесообразно использовать при анализе текущего и прогнозного уровня безопасности. Они способствуют дополнительному повышению уровня безопасности эксплуатации АЭС. Предлагаемая методика и методология прогноза доз облучения универсальна и может быть использована при решении некоторых тематических проблем атомной энергетики.

## ВНЕДРЕНИЕ НОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОСТРОНЦИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРОМЕТРА НА БАЗЕ ЖС-СЧЕТЧИКА «GUARDIAN 1414» НА СМОЛЕНСКОЙ АЭС

А.Д. Абаимов, Р.С. Галиев, В.А. Дудинская, И.М. Краснов

Смоленская АЭС, Концерн «Росэнергоатом»

При радиационном мониторинге определение содержания радиостронция в природных образцах является одной из наиболее сложных и трудоемких задач. Можно отметить, что дополнительные сложности имеет контроль выбросов и сбросов АЭС, а также окружающей среды в районах их расположения, т.к. он требует отдельного определения изотопов  $^{89}\text{Sr}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , соотношение которых по активности может изменяться в десятки раз.

Для этих целей предложен и опробован в условиях лаборатории внешнего радиационного контроля (ЛВРК) Смоленской АЭС метод, основанный на расшифровке сложных ЖС-спектров, полученных на приборе «Wallac Guardian 1414». Предварительно для имеющегося прибора была создана нуклидная библиотека, которая для каждого радионуклида (или радионуклида в равновесии с его ПД) включала наборы из 10 спектров в сгруппированном виде, полученных измерением при различных параметрах тушения аттестованных стандартных растворов. На настоящий момент библиотека содержит 12 компонентов, включая  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ . Алгоритмы разделения ЖС-спектров на компоненты и расчетов активностей радионуклидов реализован в программе «RadSpectraDec», разработанной в Мос НПО «Радон».

Помимо новых подходов к расшифровке бета-спектров в лаборатории ВРК внедрен новый более простой и эффективный метод выделения стронция, основанный на сорбционно-хроматографической очистке стронция на колонках, заполненных селективным синтетическим сорбентом, содержащим привитые макроциклические группировки.

В настоящей работе приведены практические примеры анализа радиостронция в различных объектах с использованием новых методов – аэрозолей проб воздуха из венттруб и с аспирационных установок, проб почвы, растительности, воды. Показаны преимущества методов, основанных на ЖС-спектрометрии, по сравнению с существующими.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОГО ФОНА И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СЕЙСМИЧЕСКИ СПОКОЙНОМ РЕГИОНЕ

А.В. Вуколов<sup>1</sup>, И.И. Ипполитов<sup>2</sup>, М.В. Кабанов<sup>2</sup>, В.Д. Каратаев<sup>1</sup>,  
П.М. Нагорский<sup>2</sup>, С.В. Смирнов<sup>1</sup>, В.С. Яковлева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Регистрируемые аномальные изменения объемной активности в подпочвенном воздухе или приземной атмосфере обычно связывают с изменением напряженно-деформированного состояния земной коры, приводящим к увеличению выхода почвенного радона в атмосферу.

В сейсмически опасных районах на вариации радоновых атмосферных и почвенных полей, связанные с изменением напряжений в литосфере, накладываются «фоновые» вариации, обусловленные метеорологическими и иными причинами. Эти «фоновые» вариации представляют собой помехи, спектр которых и факторы, управляющие ими, – слабо изучены.

Совместное воздействие метеорологических, актинометрических и иных факторов сложным образом влияют на вариации характеристик радонового поля. К решению этой проблемы применен подход, основанный на мониторинге метеорологических величин и радона по создаваемому им  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучению.

Представлены результаты сравнительного анализа данных мониторинга с высоким временным разрешением вариаций  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучений, стандартных метеовеличин, неионизирующей радиации, электрических параметров атмосферы, атмосферной турбулентности. Анализ данных мониторинга позволяет сделать вывод о том, что вклады  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -распадов, космических лучей (КЛ) в интегральный уровень радиоактивности приземной атмосферы зависят от метеорологических и иных факторов и могут не коррелировать между собой.

На годовом временном масштабе вариации нейтронной компоненты КЛ и  $\gamma$ -фона тесно связаны с изменениями атмосферного давления. Гораздо более сложной оказывается временная динамика вариаций  $\beta$ -компоненты: вариации  $\beta$ -фона оказываются слабо связанными с вариациями давления синоптического масштаба.

*Выполнено при поддержке проектов ФЦП № 02.740.11.0738 и СО РАН № VII.63.1.1.*

## АНТРОПОСОЦИОЯДЕРНЫЙ ДИСКУРС И ДУХОВНОЕ НАСЛЕДИЕ Ф.М. ДОСТОЕВСКОГО

Е.В. Комлева

Институт философии и политологии,  
Факультет гуманитарных наук и теологии,  
Технический университет, Дортмунд, Германия

Осмысление социальных аспектов важного в судьбе человечества феномена ядерной энергии и формирование социоядерного будущего предложено дополнить использованием художественного, религиозного и философского наследия Ф.М. Достоевского и опыта исследователей его творчества.

Ключевые слова: ядерная энергия, социум, Достоевский.

Diese Arbeit stellt einen neuen Ansatz vor, die Forschungen zu Dostojewskis literarischem, religiösem und philosophischem Erbe als eine ergänzende Komponente zur Gestaltung der sozio-nuklearen Zukunft und der Reflektion der sozialen Aspekte des Phänomens der Nuklearenergie zu berücksichtigen, welche für das Schicksal der Menschheit von grosser Bedeutung ist.

Schlüsselwörter: Kernenergie, Socium, Dostojewski.

It is proposed to include the research of Dostoevsky's literary, religious and philosophical heritage as a complementary component for the reflection of social aspects of the phenomenon of nuclear energy, being so important for the fate of humankind, as well as for the formation of socio-nuclear future.

Key words: nuclear energy, socium, Dostoevsky.

## ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ АРМИР НА ФГУП «ГХК»

В.В. Мартынов

ФГУП «Горно-химический комбинат», г. Железногорск

E-mail: imartynov@mcc.krasnoyarsk.su

В течение нескольких последних лет Госкорпорация «Росатом» силами Департамента ядерной и радиационной безопасности совместно с Российской научной комиссией по радиационной защите и Национальным радиационно-эпидемиологическим регистром активно проводят работы по внедрению в отрасли современных международных стандартов МАГАТЭ, рекомендаций МКРЗ в области радиационной защиты персонала атомной отрасли. Основным смыслом этих стандартов заключается в отказе от использования величины коллективной дозы и переходе к «дозовой многомерной матрице» в задачах по оптимизации радиационной защиты.

В чем ее смысл? На основе крупномасштабных эпидемиологических исследований, прежде всего когорты облученного населения, пострадавшего при атомной бомбардировке городов Хиросима и Нагасаки, персонала ПО «Маяк», участников ликвидации Чернобыльской катастрофы, Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) сделала вывод о том, что величина коллективной дозы может иметь крайне ограниченное применение для решения вопросов оптимизации радиологической защиты. Дело в том, что «большая доза на небольшое число людей не эквивалентна малой дозе на большое число людей, даже если оба эти случая численно соответствуют одинаковой коллективной дозе»

Учитывая эти обстоятельства, МКРЗ в своих публикациях рекомендует перейти от оценки «коллективной дозы» к «дозовой матрице», что, по сути дела, означает переход к оценке индивидуального риска. Для реализации этой современной модели оптимизации радиационной безопасности была разработана система АРМИР – автоматизированное рабочее место по оценке индивидуальных рисков. Данная система направлена на решение двух основных задач:

- во-первых, минимизация численности групп риска;
- во-вторых, выявление лиц из числа персонала отрасли, которым необходимо оказание адресной медицинской помощи через систему добровольного социального страхования.

В настоящее время система АРМИР уже внедрена на ряде ведущих предприятий отрасли.



## ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ЯДЕРНОМУ ТЕРРОРИЗМУ

А.В. Годовых, Б.П. Степанов

Томский политехнический университет

Одной из ключевых задач безопасного использования современных ядерных технологий является обеспечение режима нераспространения ядерных материалов (ЯМ). Эффективное противодействие возникающим угрозам в отношении ЯИ, ядерных установок (ЯУ) и пунктов хранения ЯМ возможно путем реализации государственной системы учета, контроля и физической защиты. При этом государство создает условия по созданию норм, правил и процедур по предотвращению незаконного доступа, захвата (хищения) и последующего использования ЯМ, а также террористических актов (диверсий) в отношении ЯУ. Для реализации данных задач требуется подготовка специалистов в области безопасности и нераспространения ЯМ. В этой связи в работе обсуждается опыт создания в Томском политехническом университете лаборатории физической защиты и противодействия ядерному терроризму. В настоящее время на базе созданной лаборатории ведется обучение студентов физико-технического факультета специальности «Безопасность и нераспространение ядерных материалов» по инженерным и магистерским программам. Представлены структура, принципы организации, состав и техническое обеспечение лаборатории. Принятый за основу модульный принцип организации лаборатории позволяет проводить обучение с применением различных методик преподавания для успешного освоения студентами практических разделов изучаемых дисциплин. При этом в лаборатории на основе единых государственных подходов к организации физической защиты, учета и контроля реализуется обучение по двум направлениям: построение систем физической защиты (СФЗ) и физической инвентаризации ЯМ.

Создание и использование единой информационной среды для изучения проведения процедур, обеспечивающих непрерывность знаний о состоянии учетных единиц ЯМ в зоне баланса материалов, а также об уровне эффективности создаваемых СФЗ, позволяют приобретать обучающимися необходимые знания для обеспечения комплексной безопасности ядерного объекта. Комплексное лабораторное оснащение техническими средствами СФЗ и устройствами индикации вмешательства, применяемых на практике в системах контроля доступа, позволяют повысить практическую составляющую инженерной подготовки студентов.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.В. Годовых, А.В. Овчинников, И.Ю. Рыков

Томский политехнический университет

В рамках режима нераспространения ядерных материалов требуется постоянное совершенствование оценки эффективности систем физической защиты (СФЗ).

Рассмотрены существующие методы оценки эффективности СФЗ, и предложен метод, основанный на применении нейронных сетей (НС).

Для получения такой оценки применяют вероятностный подход, используя который моделируют самый лучший с точки зрения нарушителя сценарий по достижению задуманной цели. Расчёт по данной модели осуществляется аналитическими и численными методами. Например, В.В. Башуров предлагает «волновой» метод решения такой задачи, где отождествляется путь нарушителя с путём распространения световой волны. Все эти методы имеют свои достоинства и недостатки. Рассматриваемый нами метод, основанный на применении НС, позволяет моделировать различные сценарии и способы проникновения нарушителя в охраняемые зоны. Для получения от НС адекватного результата нужно провести её обучение, которое мы можем осуществлять, например, с помощью программы EASY.

Нейронные сети делают возможным производить расчёты, учитывая довольно большое количество данных, что делает их одной из наиболее привлекательных сред для оценки эффективности СФЗ.

### Список литературы

1. Башуров В.В., Филимоненкова Т.И. Математические модели безопасности.- Новосибирск: НАУКА, 2009. - 87с.
2. Медведев В.С., Потёмкин В.Г. Нейронные сети.- М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. - 496с.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛИГОНА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

А.В. Годовых, А.В. Зуева, А.И. Ситдикова

Томский политехнический университет

В настоящее время особое внимание уделяется вопросам обеспечения безопасности ядерных объектов. В связи с этим, на базе инновационного образовательного центра при физико-техническом факультете ведётся проектирование полигона элементов системы физической защиты ядерных материалов.

Основной целью полигона является проведение практических занятий для студентов специальности «Безопасность и нераспространения ядерных материалов» физико-технического факультета с изучением основных принципов организации, построения и функционирования комплекса инженерно технических средств физической защиты реального объекта.

Полигон включает в себя оборудованный центральный пульт управления, располагаемое в здании, комплекс инженерных средств в защищенной зоне периметра, средства обнаружения системы охранной сигнализации, элементы и устройства контроля и управления доступом, устройства видеонаблюдения.

На периметре учебного полигона размещаются инженерно технические средства, к которым относятся элементы и устройства, входящие в состав следующих основных функциональных систем: охранная сигнализация; тревожно-вызывная сигнализация; контроль и управление доступом; оптико-электронного наблюдения и оценки ситуации; оперативной связи. Выделен в отдельный элемент транспортный контрольно-пропускной пункт.

Анализируются возможности учебного полигона под поставленные задачи при обучении студентов указанной специальности, а так же для проведения курсов повышения квалификации персонала служб безопасности.

## НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Г.П. Хандорин

Томский политехнический университет

В настоящее время остро стоит проблема обращения с облученным ядерным топливом (ОЯТ), поскольку общепринятая концепция предусматривает лишь захоронение радиоактивных элементов. Количество радиоактивных элементов, подлежащих захоронению, вскоре будет составлять около 20 тыс. тонн ежегодно. Такую концепцию обращения с ОЯТ удовлетворительной считать нельзя

Радикальным решением этой проблемы может быть только ускорение превращения радиоактивных элементов в стабильные, что возможно только за счет разработки способов воздействия на скорость распада нестабильных ядер.

С начала 2000-х годов на Сибирском химическом комбинате с участием ученых квантовой теории поля Томского государственного университета и НИИ Ядерной физики Томского политехнического института ведутся исследовательские работы с использованием дистанционного полевого воздействия на радиоактивные элементы.

Удалось в многочисленных экспериментах уменьшить интенсивность излучения радиоактивных образцов со скоростью, в несколько раз превышающей скорость естественного распада. Доказано, что ускорить радиоактивный распад тем или иным способом можно.

Это означает, что возможна разработка такого способа и таких устройств, которые позволяют после выгрузки ОТВС из активной зоны и ее охлаждения подвергнуть ее воздействию, которое сделает ее нерадиоактивной.

Таким образом, задача обезвреживания радиоактивных материалов в управляемом режиме будет решена, а атомная энергетика будет избавлена от “ахиллесовой пяты”.

## МИКРОПУЗЫРЬКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Б.В. Бошенятов

ИПРИМ РАН, г. Москва

Пузырьковые газожидкостные физико-химические процессы, такие как: флотация, дегазация жидкостей, насыщение жидкостей растворенным газом, например, кислородом в биохимическом производстве или озонирование, химические реакции газа с жидкостью и др. имеют широкое распространение в современном промышленном производстве.

Производительность реакторов и аппаратов, реализующих эти процессы, увеличивается пропорционально объемному газосодержанию и обратно-пропорционально размерам пузырьков. Так, использование микропузырьковых сред с размером пузырьков менее 0,1 мм уже при газосодержании 3-5 % приводит, по крайней мере, к пятнадцатикратному увеличению выходного продукта с единицы объема реактора, при той же затраченной мощности. Однако получение таких сред является сложной научно-технической проблемой, поэтому микропузырьковые среды до сих пор малоизучены, а микропузырьковые технологии ещё не нашли широкого применения. В работе обобщаются результаты фундаментальных исследований свойств микропузырьковых газожидкостных сред при размерах пузырьков от 10 до 80 микрон и объемных газосодержаниях до 2-3 %. Экспериментально доказано, что такие среды имеют не только очевидные, практически важные свойства, такие как: большая удельная поверхность контакта фаз и малая скорость всплытия пузырьков, но и обретают ряд новых и неожиданных свойств. В частности, в микропузырьковых газожидкостных средах практически отсутствует коалесценция пузырьков, такие среды, подобно гомогенной жидкости, можно транспортировать по трубам, без заметного разделения фаз. Приведены результаты расчетов, подтверждающих перспективность развития микропузырьковых технологий, а также примеры их эффективного использования в различных технологических процессах в промышленно развитых странах, таких как США, Япония, Канада и др. Сегодня наука о микропузырьковых газожидкостных средах и опыт создания на их основе промышленных технологий находятся в детском возрасте. Однако уже достигнутые результаты свидетельствуют о том, что микропузырьковые технологии следует относить к «прорывным технологиям», которые способны не только в десятки раз повысить производительность существующих газожидкостных процессов, но и обеспечить качественно новый технологический результат, ранее недостижимый столь простыми и экономичными средствами.

## КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВОЛЬФРАМА МЕТОДОМ ГАЗОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

В.В. Лазарчук, А.К. Ледовских, А.А. Матвеев, А.А. Галата,  
А.П.Мурлышев, В.С. Волчков, И.М. Синкин

ФГУП «Сибирский химический комбинат»

Проблемами получения гексафторида вольфрама, вольфрамовых изделий и покрытий, утилизации вольфрамсодержащих отходов на Сибирском химическом комбинате (СХК) занимаются с начала 70-х годов по настоящее время.

Сейчас на СЗ СХК создано производство гексафторида вольфрама, включающее в себя установку по получению технического гексафторида вольфрама (99,0 % масс.), установку по ректификационной очистке гексафторида вольфрама (99,9 %масс.) и установку получения изделий из вольфрама методом газофазного восстановления. Идёт создание установки переработки вольфрамовых отходов, образующихся в процессе газофазного восстановления. Процесс синтеза гексафторида вольфрама реализован путем фторирования металлического вольфрама или вольфрамовых порошков газовой смесью, состоящей из фтора и гексафторида вольфрама, циркулирующей в замкнутом контуре (кольце), состоящем из последовательно соединенных аппаратов: реактора фторирования, десублиматора и газодувки. Организация циркуляции газовой смеси через десублиматор и аппарат фторирования позволяет непрерывно выводить из контура часть наработанного гексафторида вольфрама, а избыточный фтор возвращать в реактор с целью повышения коэффициента его использования.

Фторирование вольфрама осуществляется при давлении выше атмосферного, при содержании фтора в смеси не менее 50 об. %, при степени использования фтора за один проход через зону фторирования в пределах 30-60 %. В процессе фторирования производится непрерывная подача фтора с расходом, обеспечивающим заданную производительность установки, и соответствующим количеством выводимого из схемы десублимированного гексафторида вольфрама.

Газофторидный процесс осаждения металлического вольфрама путем восстановления  $WF_6$  водородом обладает решающими технологическими преимуществами в сравнении с другими газофазными и электрохимическими процессами.

## ВИСМУТ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНИКИ И МЕДИЦИНЫ

Ю.М. Юхин

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН  
yukhin@solid.nsc.ru

Висмут – редкий металл, а мировое потребление его составляет ~ 6 тысяч тонн в год. Висмут используется в ядерной технике при получении полония, а его сплавы с металлами – в качестве высокотемпературных теплоносителей. Сплав висмута с теллуром применяют в холодильниках, а с сурьмой и теллуром – в солнечных термоэлектрических генераторах в качестве термоэлемента. Висмутсодержащие оксидные соединения находят широкое применение в качестве электрических, магнитных, оптических, сегнето-, пьезо- и пироэлектрических материалов, высокотемпературных сверхпроводников. Около 45% висмута используется в медицине в виде металлического порошка и его соединений.

Нами разработан экологически безопасный способ получения растворов солей висмута, основанный на предварительном окислении металлического висмута кислородом воздуха до оксида. Исследования по осаждению висмута из азотнокислых растворов производства его соединений позволили рекомендовать новое направление в процессах синтеза соединений висмута высокой чистоты, основанное на взаимодействии оксогидроксонитрата висмута с растворами минеральных (галогенводородных, азотной, серной) и органических (винной, щавелевой, лимонной, галловой, уксусной) кислот, а также с растворами солей щелочных металлов (галогенидов, фосфатов, хроматов, сульфидов). Разработаны способы синтеза оксида, нитратов, оксогалогенидов, оксоацетата, оксокарбоната, оксосалицилата, оксогаллата и цитрата висмута высокой чистоты с содержанием сопутствующих металлов  $1 \cdot 10^{-4}$  –  $1 \cdot 10^{-7}$  %. Установлено, что при термическом (150-250 °С) разложении соединений висмута в высококипящем органическом растворителе (бензиловом спирте) эффективность восстановления висмута до металла возрастает в ряду: оксохлорид, оксонитрат, оксокарбонат, оксид, оксогаллат, дитарtrat и ацетат висмута, а получаемый порошок имеет размер частиц 0,01 -1 мкм. Проведённые исследования по термическому разложению монокарбоксилатов висмута с различной длиной метиленовой цепи свидетельствуют, что продуктом разложения оксоформиата, каприлата, лаурата и стеарата висмута в инертной атмосфере или вакууме является нанокристаллический висмут с размером частиц 5-10 нм. Показано, что восстановление смеси карбоксилатов металлов в системе висмут-свинец, серебро, медь или никель является перспективным методом получения сплавов металлов субмикронного размера.

## УТИЛИЗАЦИЯ УРАНА ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ

О.Б. Громов, В.Ю. Кольцов, П.И. Михеев, В.И. Никонов, А.Ю. Щеглов

*ОАО «Ведущий НИИ химической технологии», Москва*

115409, Москва, Каширское шоссе, 33

E-mail: [info@vniht.ru](mailto:info@vniht.ru), [ollgromov@mail.ru](mailto:ollgromov@mail.ru)

В процессе эксплуатации газоразделительного производства изотопов урана на различных переделах и участках присутствуют разнообразные газовые смеси, образующиеся в результате процессов, связанных с поддержанием основного оборудования в рабочем состоянии. К таким продуктам относятся газы, образующиеся при штатных операциях с различными емкостями, содержащими  $UF_6$ , откачные газовые смеси коллекторов КИУ, аварийные выбросы, вентиляционные и сбросные смеси и другие. Например, объем газов на основе галогенфторидов, преимущественно содержащие  $ClF_3$  и продукты его разложения, а также  $UF_6$  и  $HF$ , составляет 150 - 300 м<sup>3</sup> в месяц

К наиболее эффективным способам переработки газовых смесей разделительного производства относятся сорбционно-поглощительные технологии с применением различных фторидных сорбентов ( $NaF$ ,  $LiF$ ,  $CaF_2$  и др.) и химических поглотителей преимущественно на щелочной основе - ХП-МК, ХП-И, ХП-МД, ХП-ММД и др.

В настоящее время переработка большинства отработавших химических поглотителей, содержащих уран и фтор-ион, не предусмотрена в связи с отсутствием разработанных способов утилизации урана и/или фтора. Такие материалы (ХП-МК, ХП-И и фторидные сорбенты), квалифицируют как низкоактивные радиационные отходы, которые подлежат захоронению.

Рассмотрены некоторые способы переработки насыщенного фтором и содержащего уран отработавшего ХП-МД.

Первый путь заключается в выщелачивании компонентов водой и 2 %-ными растворами соляной или серной кислот с последующим сжиганием древесной основы. Недостатком данного способа является образование большого объема жидких отходов.

Второй путь предусматривает озоление древесной основы. Преимущества заключаются в существенном уменьшении твердых отходов, содержащих уран, но при этом необходимо улавливать выделяющийся  $HF$ , например, на  $NaF$ . В данном случае для снижения температуры озоления древесной основы можно применить промоторы горения, представляющие собой композиции солей некоторых переходных и редкоземельных металлов.

Третий путь переработки возможен посредством брикетирования отработавшего поглотителя с последующим захоронением.



## ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.В. Волощук<sup>1)</sup>, Ю.В. Островский<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>ОАО «Новосибирский «ВНИПИЭТ», <sup>2)</sup>ООО НПЦ «ЭЙДОС»

E-mail: ost@vni Piet-nsk.ru, тел/факс: (383)-276-00-06

Научно-исследовательская лаборатория ОАО «Новосибирский «ВНИПИЭТ» создана в 1978г. и специализируется на решении технологических и природоохранных задач, стоящих перед предприятиями Росатома. Основные направления деятельности:

- очистка производственных водных стоков (в т.ч. высокоминерализованных) от примесей тяжёлых, цветных и радиоактивных металлов;
- очистка шахтных вод (декантатов хвостохранилищ) от примесей цветных и радиоактивных металлов;
- извлечение редких и редкоземельных металлов из водных сред;
- сорбционное извлечение редких (радиоактивных) металлов на неорганических сорбентах из «засолённых» водных систем;
- денитрация аммиачных маточников;
- малоотходная технология азотнокислотного аффинажа урана;
- комплексная очистка большеобъёмных (высокотемпературных) газовых выбросов от твёрдых и газообразных включений;
- очистка дымовых газов печей прокаливания АУТК;
- высокоэффективные аппараты «мокрой» очистки газов;
- каталитическое обезвреживание технологических и вентиляционных газов от водорода, аммиака и паров органических веществ;
- адсорбционная и абсорбционная очистки газов от паров органических и хлорорганических веществ;
- обезвреживание (каталитическое, пламенное) смешанных жидких органических отходов, в т.ч. и радиоактивных;
- переработка твёрдых органических отходов в расплавах солей и щелочей;
- деминерализация водных систем в смешанном слое ионитов;
- флотационные технологии.

Степень проработанности – от лабораторных установок до промышленных образцов. Многие из этих технологических разработок и аппаратурного оформления могут быть адаптированы к снижению техногенного воздействия на окружающую среду предприятий отрасли, а также предприятий смежных отраслей промышленности.

## О ПОДГОТОВКЕ РАБОТНИКОВ ДЛЯ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

\*А.Н. Деренок, \*\*А.З. Лускин, \*\*Н.А. Чулков

\*ГОУ ВПО «Томский архитектурно-строительный университет»

\*\*ГОУ ВПО НИ «Томский политехнический университет»

E-mail: Chulkov45@mail.ru

Для грамотной безаварийной эксплуатации оборудования необходимо иметь квалифицированные кадры.

Обеспечение надежного функционирования организаций является одной из главных целей развития страны. Исходя из этой цели, организации формируют материально-техническую базу и подбор и расстановку кадров для управления, оперативного обслуживания и ремонта оборудования.

Штатное расписание формируется на основе [1], с учетом норм обслуживания оборудования его специфики и норм выработки. В нормативных актах, на основании, которых работникам предоставляются компенсации за условия труда, используют коды классификатора [2], закрепленные за рабочей профессией, обслуживающей определенный технологический процесс и конкретное оборудование.

При поручении дополнительных обязанностей автоматически должен расширяться комплекс профилактических организационно-технических мероприятий. Работникам необходимо пройти обучение на соответствующую группу допуска к работам по обслуживанию дополнительного вида оборудования, по выполнению видов работ .

Решение возникших проблем, включая подбор, подготовку, повышение квалификации и расстановку кадров, по существу кадров широкого профиля деятельности позволит малым предприятиям эксплуатировать оборудование, не прибегая к услугам специализированных организаций.

### Список литературы

1. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих. Вып.3 – М.: Стройиздат, 1987. 799с.

2. Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов. ОК 016-94. - М.: Стандартинформ, 2006. 159с.

## ОБЕСФТОРИВАНИЕ ОБЕДНЕННОГО ГФУ НА УСТАНОВКЕ «W-ЭХЗ»

А.В. Васильев, Р.У. Кулиев, А.Е. Прокопенко

«Электрохимический завод», E-mail sandr@escr.kts.ru

В декабре 2009 года в ОАО «ПО ЭХЗ» осуществлен пуск установки «W-ЭХЗ»[1]. Первая в России промышленная установка по переработке обедненного гексафторида урана (ОГФУ) создана по контракту с группой компаний Areva NC и SGN (Франция) [2].

Сущность процесса обесфторивания ОГФУ по технологии, используемой Areva NC, заключается во взаимодействии газообразного гексафторида урана с перегретым водяным паром в головной части реактора с образованием уранилфторида, который по мере продвижения по трубчатому реактору в условиях высокой температуры конвертируется в закись-окись урана ( $U_3O_8$ ) действием пароводородной смеси.

Образующаяся в результате обесфторивания ОГФУ фтористоводородная кислота (ФВК) имеет концентрацию 70% масс. В связи с тем, что 70% ФВК не используется в российской промышленности, технологическая схема установки «W-ЭХЗ» предполагает ректификацию 70% ФВК с получением товарных продуктов: безводного фтористого водорода (БФВ) и 40% ФВК. Данные продукты используются в технологии получения ГФУ. В настоящее время в России применяются два способа получения гексафторида урана: непосредственное фторирование закиси-окиси урана в среде газообразного фтора и двухстадийное фторирование, в котором на первой стадии получают тетрафторид урана обработкой закиси-окиси урана плавиковой кислотой, а на второй – проводят фторирование тетрафторида в среде газообразного фтора. Использование продуктов обесфторивания ОГФУ для получения сырьевого гексафторида урана позволит создать в рамках атомной отрасли замкнутый фторный цикл.

В результате совместной работы российских и зарубежных специалистов осуществлен пуск первой в России крупнотоннажной промышленной установки обесфторивания гексафторида обедненного урана, решена задача применения фтористоводородной кислоты, образующейся в процессе обесфторивания.

### Список литературы

1. Филимонов С.В. Конверсия обедненного гексафторида урана – забота о будущих поколениях [Электронный ресурс]: презентация при запуске установки «W-ЭХЗ» / С.В. Филимонов.- 2009
2. Сибирская кухня по французскому рецепту [Текст]// Вестник АТОМПРОМА.- 2009.- №2

## ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ МАКРОПОРИСТЫХ АНИОНИТОВ В ПРОЦЕССЕ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ИЗ ЦИАНИСТЫХ РАСТВОРОВ

А.С. Буйновский, П.Б. Молоков, А.С. Завалюев

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

E-mail: zas\_85@inbox.ru

За последние десятилетие наблюдается значительный рост потребления золота, при этом российская золотодобыча испытывает значительные трудности, связанные в первую очередь с истощением запасов богатых и легкодобываемых руд. На сегодняшний день золотодобывающие предприятия вовлекают в переработку сырье с более сложным составом и меньшим содержанием ценных компонентов. При этом все большую актуальность приобретает работа, связанная с исследованием сорбционного извлечения золота и серебра из цианистых растворов. Целью данной работы являлось исследование основных характеристик анионита марки D301G: гранулометрический состав, механическая и осмотическая прочность, а также снятие изотермы сорбции золота и серебра из цианистых растворов, десорбция золота и серебра. Анионит марки D301G производят в КНР.

В качестве объекта сравнения был выбран анионит марки АМ-2Б. Для определения сорбционных свойств аниониты были переведены в  $CN^-$ -форму. Исследования проводили при рН 10,5 и 11,5. Исходная концентрация золота и серебра в цианистом растворе 100 мг/л и 3 мг/л соответственно, концентрация цианида натрия составляла 250 – 300 мг/л.

Осмотическая прочность анионита марки АМ-2Б по сравнению с исследуемым анионитом марки D301G ниже на 3,5%. Снятые изотермы сорбции показали, что емкость по золоту и серебру анионита марки D301G выше на 25% и 35% соответственно по сравнению с анионитом марки АМ-2Б. Исследование о влиянии рН среды на сорбцию золота анионитом показало небольшое уменьшение коэффициента распределения при увеличении рН.

Исследования десорбции золота и серебра проводили в статическом режиме при температуре 60°C двумя способами: раствором 30г/л  $H_2SO_4$  и 90г/л  $CS(NH_2)_2$ ; раствором 20г/л  $NaCN$  + 5г/л  $NaOH$ . Процесс десорбции серноокислым раствором тиомочевины возможен и эффективен. Процесс десорбции щелочным раствором цианида натрия не возможен.

## ЭКСТРАКЦИЯ ИНДИЯ ИЗ СЕРНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.Ю.Флейтлих<sup>1</sup>, Г.Л.Пашков<sup>1</sup>, Л.К.Никифорова<sup>1</sup>, Н.А.Григорьева<sup>1</sup>,  
Г.К.Кулмухамедов<sup>2</sup>, А.М.Копанёв<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск  
<sup>2</sup>ОАО «Химполитех», г. Новосибирск  
E-mail: fleita@sibnet.ru

Ди(2-этилгексил)фосфорная кислота (Д2ЭГФК) является одним из самых эффективных экстрагентов для извлечения индия из сульфатных растворов цинкового производства. Д2ЭГФК экстрагирует индий не только с высокими коэффициентами распределения, но и весьма селективно. Основной недостаток этого экстрагента заключается в необходимости использования концентрированных растворов соляной кислоты (8-10 М) для реэкстракции индия из органической фазы. Это приводит к поступлению в производственный цикл значительных количеств хлорид-иона, который является чрезвычайно вредной примесью в цинковом производстве. Введение некоторых добавок в органическую фазу, содержащую Д2ЭГФК, позволяет упростить реэкстракцию индия.

В настоящей работе представлены результаты по исследованию и разработке экстракционной технологии извлечения индия смесями Д2ЭГФК и монокарбоновых кислот, позволяющими ликвидировать вышеуказанные недостатки. В качестве монокарбоновых кислот использовались, в основном, синтетические жирные кислоты (СЖК) фракции С<sub>7</sub>-С<sub>9</sub>.

Изучены различные технологические параметры (кислотность водной фазы, состав экстрагента, природа разбавителя и т.д.) на экстракционное извлечение индия из цинковых растворов. Оптимальным был выбран следующий состав экстрагента: 0,35 М Д2ЭГФК+2,5 М СЖК в нефтяных парафинах. В качестве реэкстрагента для индия предложено использовать растворы серной кислоты (300-400 г/дм<sup>3</sup>) с добавкой хлорид-иона (25-50 г/дм<sup>3</sup> хлорида натрия или аммония). В этих условиях извлечение индия на экстракционном переделе составило 97,0-99,0%.

Разработанная технологическая схема проверена во время промышленных испытаний на Челябинском цинковом заводе. В период испытаний были подтверждены основные технологические параметры, полученные на лабораторной стадии.

Технология освоена на заводе в феврале 2002г.

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОПТИЧЕСКИЕ  
ЯВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ  
ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА

О.С. Андриенко<sup>1,2</sup>, В.И. Сачков<sup>1,3</sup>, М.А. Казарян<sup>1,3</sup>, С.В. Турубаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОСП Сибирский физико-технический институт имени академика  
В.Д.Кузнецова ТГУ, г. Томск  
e-mail:itc@spti.tsu.ru

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы имени В.Е.Зуева, г. Томск  
e-mail:aos@iao.ru

<sup>3</sup>Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН, г. Москва

Актуальность изучения сорбционных и оптических явлений в условиях фотокаталитического разделения изотопов углерода обусловлена необходимостью развития их общих фундаментальных закономерностей.

В настоящей работе обсуждается механизм и кинетика протекающих в процессе фотокаталитического разделения изотопов углерода реакций. Приводятся данные термодинамических оценок и сопоставление их с экспериментальными результатами. Проведен комплексный анализ происходящих в системе процессов релаксации и передачи энергии, а также механизма селективного электромагнитного возбуждения молекул СО лазерным излучением вблизи поверхности полупроводниковых наночастиц в связи с характеристиками их плазмонов.

*Работа проведена в рамках ФЦП «Кадры» ГК № П177, ГК № П1099 и ГК № П1274.*

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ «СОЛНЕЧНОЙ» ЧИСТОТЫ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА ИЗ РАСПЛАВА СОЛЕЙ KF-NaF-LiF.

С.А. Соковиков, В.П. Дмитриенко, О.И. Налесник,  
В.А. Казимиров, В.А. Карелин

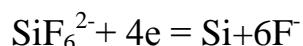
Томский политехнический университет  
s\_sergio@mail.ru

Поликристаллический кремний («поликремний») — наиболее чистая форма промышленно производимого кремния. «Солнечный» или SG-поликремний используется для производства солнечных фотоэлементов.

Основным методом получения поликремния в мире (более 75% общего выпуска) остается водородное восстановление трихлорсилана  $\text{SiHCl}_3$  в Сименс-реакторе (в этом процессе  $\text{SiHCl}_3$  осаждают на специальных стержнях с получением чистого кремния).

Целью данной работы ставится разработка метода получения поликристаллического кремния SG-качества с более низкой себестоимостью и высокой экологической безопасностью.

Предлагается метод, в котором поликремний SG-качества получается в процессе электролиза из расплава тройной смеси безводных KF-LiF-NaF с дополнительным введением в расплав тетрафторида кремния  $\text{SiF}_4$ , полученного из диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  с чистотой 99,999 по методу фтораммонийной переработки кварцевого сырья. Электролиз ведется при температурах 550-750°C, при этом на катоде происходит разряд ионов кремния:



Присутствующие в расплаве катионы щелочных металлов не могут выделяться на катоде из-за их высокого отрицательного потенциала (от -2,8 до -3,01В), недостижимого при электролизе, и, благодаря этому, на катоде удается получить кремний с содержанием примесей <1 ppm. Преимуществом такого способа получения кремния является отсутствие необходимости дополнительного введения фтора в процесс для получения  $\text{SiF}_4$ , так как он в избытке выделяется на аноде в процессе электролиза.

Разрабатываемая технология получения кремния является практически безотходной, так как используются реагенты, регенерирующиеся в ходе технологического цикла.

### Список литературы

1. Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червоний И.Ф. и др.// Технология полупроводникового кремния. М., 1992.
2. Дьяченко А.Н. //Фтораммонийная технология переработки техногенного сырья. <http://www.ftortechology.ru/f83.htm>

## ОЧИСТКА УРАНА ОТ ТЕХНЕЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ АФФИНАЖА РЕГЕНЕРИРОВАННОГО УРАНА

Е.А. Каменев, С.Н. Круглов, В.В. Лазарчук

ОАО «Сибирский химический комбинат»

E-mail:shk@seversk.tomsknet.ru

В основе известных способов экстракционной очистки урана от технеция-99 лежит перевод технеция из семивалентного состояния, в котором он соэкстрагируется с ураном, в четырехвалентное - неэкстрагируемое трибутилфосфатом состояние. В качестве восстановителя семивалентного технеция используется гидразин.

В работе изучено поведение технеция в процессе восстановления семивалентного технеция четырехвалентным ураном, стабилизированным гидразином, в растворах уранилнитрата с дефицитом и избытком азотной кислоты. Показано, что введение вместе с гидразином четырехвалентного урана ускоряет восстановление семивалентного технеция, которое также сменяется его обратным окислением.

В экспериментах было отмечено, что в растворах уранилнитрата после введения четырехвалентного урана в течение первой минуты происходит быстрое восстановление технеция(VII). С увеличением продолжительности процесса восстановления, в зависимости от концентрации азотной кислоты, содержание технеция(VII) либо падает (в случае дефицита азотной кислоты) либо растет (во всех остальных опытах).

Показано, что в производственных условиях необходимо поддерживать режим со сравнительно небольшим временем восстановления технеция. Данный способ может быть реализован, если восстановление технеция(VII) ураном(IV) проводить в потоке исходного раствора, выдаваемого из реактора в экстракционную колонну, с введением раствора урана(IV) непосредственно в поток исходного раствора урана(VI). Реализация предложенного способа возможна следующим образом: введением раствора урана(IV) в поток исходного раствора урана(VI) либо одновременной подачей раствора нитрата урана(VI), содержащего технеций(VII), и раствора урана(IV) в экстракционный аппарат.



## ФТОРИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТОНКОМ ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ

О.С.Андриенко<sup>1,2</sup>, В.И.Сачков<sup>1,3</sup>, В.А.Яновский<sup>1</sup>,  
М.Ф.Мингалимов<sup>1</sup>, Е.В.Обходская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОСП Сибирский физико-технический институт имени академика  
В.Д.Кузнецова ТГУ, г. Томск  
e-mail:itc@spti.tsu.ru

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы имени В.Е.Зуева, г. Томск  
e-mail:aos@iao.ru

<sup>3</sup>Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН

Одним из представителей фторсодержащих органических соединений является дифторметансульфохлорид. Потребность в данном продукте на мировом рынке возникла в связи с новейшими разработками в области фармакологии и агрохимии. Кроме того, дифторметансульфохлорид является сырьем для получения дифторметансульфоокислоты, производные которой являются ценными катализаторами ряда органических реакций (гидратация пропилена, синтез пестицидов, инсектицидов и других биологически активных соединений и т.д.). Поэтому разработка новых методов получения данного продукта весьма актуальна.

В работе представлен ряд экспериментальных данных по изучению кинетики и термодинамики различных методов получения дифторметансульфохлорида и его производных обсуждаются их достоинства и недостатки.

*Работа выполнена в рамках АВЦП №2.1.1/2430 и ФЦП «Кадры» ГК №02.740.11.0257.*

## О ВОЗМОЖНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА В УСЛОВИЯХ АДСОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННОГО РАВНОВЕСИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР

В.И. Сачков<sup>1,2</sup>, М.А. Казарян<sup>1,2</sup>, М.Ю. Просекин<sup>3</sup>, И.Г. Просекина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ОСП Сибирский физико-технический институт имени академика  
В.Д.Кузнецова ТГУ, г. Томск  
e-mail:itc@spti.tsu.ru

<sup>2</sup>Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Иркутский государственный университет, г. Иркутск

В докладе рассматривается вопрос возможности разделения изотопов в результате многократных циклов сорбции и десорбции. Предполагается провести сорбирование смеси протия и дейтерия на поверхности и в объеме углеродных нанотрубок. Проведенный анализ и расчет показали, что выбор режима термопрограммируемой десорбции и предварительная термopодготовка сорбирующей матрицы существенно влияют на процесс газовой выделения. Состояние поверхности оказывает заметное влияние на изотопное смешивание, и этот эффект усиливается в силу геометрических свойств нанотрубок. В силу различных величин энергий активации для протия и дейтерия можно увеличить процентное содержание дейтерия в смеси углеродных наноструктур в ходе процесса многократной частичной сорбции-десорбции газа.

*Работа проведена в рамках ФЦП «Кадры» ГК № П177, ГК № П1099 и  
ГК № П1274.*

## СЕРНОКИСЛОТНО-ХЛОРИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА И ПОСЛЕДУЮЩЕЕ ЕГО ВЫДЕЛЕНИЕ НА АНИОНИТАХ И АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЯХ

А.С. Буйновский, П.Б. Молоков

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

Данная работа посвящена исследованию процесса выщелачивания золота из упорных к цианированию концентратов и последующему выделению золота из растворов выщелачивания на анионитах и активированных углях. В качестве объекта исследования был выбран упорный к цианированию концентрат Покровской золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ). В зависимости от партии содержание золота в концентратах составило от 200 до 400 г/т, доля цианируемого от 20 до 30%. Магнитная фаза в получаемых концентратах составляет от 20 до 60%, и в основном она представлена металлическим скрапом от шаров. Содержание золота в магнитной фазе от 15 до 50% от общего содержания золота в концентрате. На металлических частицах были обнаружены «прикованные» золотины. На основании проведенных исследований было установлено, что упорность к цианированию вызвана рядом причин: часть золота закрыта в кварце и для его извлечения необходимо уменьшение тонины помола; часть золота закрыта в кислоторастворимых примесях, в частности в пирите, «ржавое» золото, золото «прикованное» к металлическим частицам.

Серноокислотно-хлоридное выщелачивание с добавкой в качестве окислителя пиролюзита было выбрано как способ выщелачивания, позволяющий растворять пирит и включенное в него золото. Присутствие золота в магнитной фазе не позволяет выделить ее отдельно, поэтому при проведении выщелачивания использовали концентрат без отделения магнитной фазы. В связи с этим было предложено проведение процесса выщелачивания в две стадии: 1 – без использования окислителя для выделения основной части железа; 2 – с использованием окислителя для вскрытия сульфидов и выщелачивания золота. В работе были найдены оптимальные условия процесса выщелачивания (температура, концентрация реагентов, продолжительность, отношение Т:Ж), позволяющие эффективно проводить процесс выщелачивания на уровне 90÷96%. Дальнейшее выделение золота из растворов выщелачивания проводили с использованием анионита марки АМ-2Б и активированных углей марки «БАУ-А» и марки «Каусорб-35» в статических и динамических условиях. Анализ полученных результатов показал, что сорбция золота эффективно идет на всех рассматриваемых сорбентах. Анализ активированных углей показал, что золото на них находится в восстановленном металлическом состоянии, содержание от 6 до 8%. Сорбция на анионите идет по ионообменному механизму.

## ПОЛУЧЕНИЕ МЕЧЕННЫХ ТЕХНЕЦИЕМ-99М МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ НАНОКОЛЛОИДОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

П.С. Постников<sup>а</sup>, М.Е. Трусова<sup>а</sup>, Е.А. Нестеров<sup>б</sup>, М.Л. Белянин<sup>а</sup>, В.С.  
Скуридин<sup>б</sup>, В.Д. Филимонов<sup>а</sup>, А.С. Рогов<sup>б</sup>, В.Л. Садкин<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Томский политехнический университет

<sup>б</sup> НИИ ядерной физики Томского политехнического университета

Создание меченных <sup>99m</sup>Tc нанокolloидов является актуальной задачей для медицинской диагностики раковых опухолей. Наиболее простым методом получения коллоидов с заданными размерами и свойствами является иммобилизация <sup>99m</sup>Tc на поверхности наноразмерных материалов.

Нами был предварительно разработан метод синтеза новых уникальных солей диазония — арилдиазоний тозилатов АДТ [1]. Было показано, что АДТ способны спонтанно реагировать с углеродсодержащими поверхностями с выделением азота и ковалентной пришивкой органического остатка на поверхность [2]. В работе для получения меченных <sup>99m</sup>Tc нанокolloидов были выбраны наночастицы железа, покрытые углеродом (Fe@C), которые, как было показано ранее [3], не токсичны и могут быть использованы как носители <sup>99m</sup>Tc. Для иммобилизации <sup>99m</sup>Tc наночастицы Fe@C модифицировались с использованием п-карбокситбензолдиазоний тозилата, после чего проводилась активация поверхностных карбоксильных групп и реакция с иминодиуксусной кислотой (IDA).

Нанесение радиоактивной метки <sup>99m</sup>Tc на частицы Fe@C проводилось путем прямого смешивания водной суспензии порошка с элюатом из хроматографического генератора технеция-99м в присутствии восстанавливающего агента – SnCl<sub>2</sub> с последующей инкубацией смеси в течение 5 мин. После полученные частицы осаждались на магните и тщательно промывались дистиллированной водой. Количество прореагировавшего с частицами <sup>99m</sup>Tc определялось по остаточной активности радионуклида в промывных водах. В рассмотренных условиях мечения с частицами прореагировало 15,6 % от введенной активности <sup>99m</sup>Tc к, что соответствует 1,12\*10<sup>-9</sup> г-ат/г.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

1. Filimonov V., Trusova M., Postnikov P. Org. Lett. 2008 (10), 3961;
2. Постников П.С., Филимонов В.Д и др. Заявка на патент. Приор. справка № 2008132220;
3. Ермаков А.Е., Уймин М.А. и др. ЖФХ. 2009 (83), 1338.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ТЕХНЕЦИЯ-99М НА ОКСИДАХ АЛЮМИНИЯ

В.С. Скуридин, Е.С. Стасюк, Е.А. Нестеров, Е.В. Чибисов, В.Л. Садкин,  
А.С. Рогов, Л.А. Ларионова, Ю.В. Нестерова, Н.В. Варламова

НИИ ядерной физики Томского политехнического университета, Томск

Одним из факторов, отрицательно влияющих на эксплуатационные характеристики сорбционных генераторов технеция-99м, изготавливаемых на основе облученного нейтронами обогащенного молибдена-98, является наблюдаемая зависимость элюационного выхода  $^{99m}\text{Tc}$  от степени заполнения генераторной колонки адсорбированным молибденом и его распределения по объему сорбента (оксида алюминия). За счет этого величина выхода  $^{99m}\text{Tc}$  в одном и том же объеме элюата (физраствора) может изменяться в достаточно широких пределах от 60 до 92 %. Одной из причин такого нежелательного эффекта может явиться «торможение»  $^{99m}\text{Tc}$  избыточными (вакантными) активными центрами оксида алюминия, которые создаются в оксиде при его кислотной обработке для достижения устойчивой адсорбции молибдена.

Цель работы состояла в изучении динамики перемещения  $^{99m}\text{Tc}$  в колонках с оксидами алюминия, прошедших различную кислотную обработку, и в определении скорости его вымывания из генераторных колонок.

На первом этапе проводилось изучение процесса активации оксидов под действием соляной кислоты. По этим результатам были проведены расчеты количеств активных центров, образующихся в оксидах при разных условиях их кислотной обработки. Затем на колонки с подготовленными активированными оксидами была проведена адсорбция  $^{99m}\text{Tc}$  из раствора натрия пертехнетата с последующим изучением распределения радионуклида в объеме колонок методом их сканирования над детектором с коллимирующим устройством. После через колонки порциями объемом 1-2 мл пропускали 0,9 % раствор натрия хлорида (физраствор) с повторным их сканированием над детектором. По этим данным строили зависимости изменения общей картины распределения  $^{99m}\text{Tc}$  в объеме колонок, а также зависимости его линейного перемещения по длине колонок под действием элюента вплоть до его полного вымывания.

В результате проведенных исследований сделан вывод, что «скорость» смещения фронта адсорбированного  $^{99m}\text{Tc}$  по длине колонки под действием раствора элюента в среднем составляет 0,5 см/мл. Это означает, что для получения максимально высокого выхода  $^{99m}\text{Tc}$  в минимальном объеме элюента необходимо проводить предсорбционную подготовку сорбента таким образом, чтобы молибден заполнял до 80 % объема колонки.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

## ВВЕДЕНИЕ РАДИОАКТИВНОЙ МЕТКИ ТЕХНЕЦИЯ-99М В СТРУКТУРУ АНТИБИОТИКА

Н.В. Варламова, В.С. Скуридин, Е.А. Нестеров

НИИ ядерной физики ГОУ ВПО НИ  
Томский политехнический университет, г. Томск

Диагностика инфекционно-воспалительных заболеваний остается одной из наиболее актуальных проблем современной медицины. Решением этой проблемы может служить использование радионуклидных методов индикации, которые во многих случаях позволяют сделать оценку физиологических изменений в поврежденных органах и тканях на ранних стадиях развития воспалительного процесса. Были проведены исследования по созданию устойчивых реагентов (в виде стандартного набора к генератору технеция-99м) для получения меченных технецием-99м антибиотиков из группы фторхинолонов (ФХ). Для проведения исследований использовали ципрофлоксацин гидрохлорид (ЦФГ), норфлоксацин гидрохлорид (НФГ), олово двухлористое, аммиак водный, этилацетат, этанол, изопропиловый спирт, ацетон, пластины силикагеля для тонкослойной хроматографии "Sorbfil", в сорбент введен флуоресцентный индикатор ( $\lambda = 254$  нм). Реагенты для получения препарата готовили в виде сухих стерильных смесей ЦФГ или НФГ и восстанавливающего агента  $\text{SnCl}_2$  с различной концентрацией. В полученную сухую смесь вводили по 5 мл раствора натрия пертехнетата,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  из генератора технеция-99м. Полученную смесь инкубировали в течение 20 минут до полного растворения ФХ.

Для определения содержания радиохимических примесей (РХП) в получаемом препарате использовали метод тонкослойной хроматографии в двух системах: ацетоне, а также смеси этилацетата, изопропилового спирта и концентрированного аммиака в объемном соотношении 12:6:4.

С целью снижения коллоидообразования были проведены исследования в двух направлениях: первый состоял в смещении величины рН среды в более кислую область путем введения в препарат соляной кислоты, второй - в изменении количества  $\text{SnCl}_2$  в составе смеси для нахождения оптимальной концентрации восстановителя. Показано, что при содержании  $\text{SnCl}_2$  в количестве 0,2- 0,3 мг на 5 мг ФХ получаемые меченые препараты могут быть использованы без дополнительной фильтрации.

Изучение характера распределения фторхинолонов меченных технецием-99м в органах и тканях экспериментальных животных (кроликов и крыс) и оценка их функциональной пригодности проводили с использованием гамма-камеры "Philips-Forte".

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОКСАЛАТА НЕОДИМА

А.Ю. Водянкин, И.И. Жерин, Т.П. Морозова, А.Н. Страшко

Томский политехнический университет

E-mail: sanpost@mail.ru

На сегодняшний день в России имеется более десяти предприятий, которые выпускают редкоземельные постоянные магниты из импортируемого сырья (Китай). В настоящее время отходы производства магнитов на основе неодима в России не перерабатываются, что приводит к их ежегодному накоплению. Эффективная технология переработки шлифотходов позволит более рационально использовать ресурсы импортируемого минерального сырья.

Ранее [1] нами был предложен способ переработки шлифотходов гидрометаллургическим способом, одной из основных стадий которого является прокаливание оксала неодиима. Для определения оптимальных параметров этого процесса методами термического и масс-спектрометрического анализа изучалось разложение оксала неодиима на воздухе в диапазоне температур 20-850°C. Согласно экспериментальным данным, основными стадиями являются процессы, протекающие в диапазоне температур 100-200°C, 380-400°C и 520-550°C. Установлено [2], что образование оксида неодиима протекает с образованием промежуточных оксикарбонатов.

Показано, что его полное разложение до оксида неодиима заканчивается в течение 30 минут при 700°C.

Предложен и обоснован механизм процесса прокаливания, изучены кинетические закономерности протекания отдельных стадий. Проведено сравнение энергий активации и предэкспоненциального множителя прокаливания в изотермических и неизотермических режимах.

### Список литературы

1. Страшко А.Н., Блинов А.Е., Цхе М.В. Гидрометаллургическая переработка шлифотходов магнитного производства. XIУ Междунар. научно-практ. конф. студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии СТТ 2008»: Томск, 2008. С. 120-121.
2. Шаров В.А., Безнадежных Г.В. О термическом разложении оксалатов и карбонатов лантаноидов, иттрия и скандия. //Успехи химии. 1981 Т.50. №7. С. 1197–1206.

## ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФТОРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.Н. Дьяченко, А.Д. Киселев, Р.И. Крайденко

Томский политехнический университет  
www.ftortech.ru, ftortech@mail.ru

Для рентабельной эксплуатации солнечных батарей необходим кремний стоимостью менее 15 долл. за кг. Самой дорогостоящей стадией в существующих способах производства кремния является очистка кремнийсодержащего соединения от примесей. Считается, что максимальной степени очистки вещества можно добиться сублимацией-десублимацией, либо ректификацией его летучего соединения. В случае кремния используют силаны, хлорсиланы. Сам процесс получения силана (хлорсилана) кремния является высокочрезвычайно затратным. В результате передела в газовую фазу попадают летучие соединения неметаллов, являющихся основными мешающими примесями в кремнии, используемом для солнечной энергетики.

Предлагается удалить примеси бора, фосфора, мышьяка и др. неметаллов до стадии получения кремния. Если получить исходное сырье необходимой чистоты с суммарным содержанием примесей неметаллов менее 1 ppm, то и конечный продукт можно получить чистотой 6N.

Удобным соединением кремния для очистки от примесей является гексафторосиликат аммония, который можно получить фторированием оксида кремния в расплаве фторида или гидродифторида аммония[1]. Теория гидрофторирования соединений кремния, железа, алюминия широко описана в литературе[2, 3]. Аммиачным осаждением из гексафторосиликата аммония можно получить оксид кремния, который и применить для синтеза кремния, например, методом магнийтермии. Предварительно магний необходимо очистить вакуумной перегонкой, данный процесс реализован в промышленности. При этом основными примесями в полученном кремнии будут соединения магния, которые можно вывести из кремния его переплавкой. Таким образом, можно избежать дорогостоящей стадии дистилляции силана (хлорсилана) кремния и снизить себестоимость конечной продукции ниже 15 долл. за кг.

### Список литературы

1. Мельниченко Е.И., Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г. Химические свойства  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ //Журнал неорганической химии. Т. 50. № 2. 2005. С. 192-196.
2. Мельниченко Е.И. Фторидная переработка редкометалльных руд Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука. 2002. 268с.
3. Раков Э.Г. Химия и технология неорганических фторидов. – М.:Изд.МХТИ им.Менделеева. 1990. 162с.



## ПРОИЗВОДСТВО СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ В ОАО «ПО ЭХЗ»

С.В. Филимонов, Г.М. Скорынин, Д.В. Тимофеев, А.Н. Гилёв,  
Д.Б. Кононов, О.А. Морозов

ОАО «ПО «Электрохимический завод»

В 1972 году на ОАО «ПО ЭХЗ» в каскаде газовых центрифуг было получено железо, обогащенное изотопом Fe-57. Этим было положено начало освоению на предприятии центрифужной технологии разделения стабильных изотопов. В настоящее время ОАО «ПО ЭХЗ» является крупнейшим производителем стабильных изотопов газоцентрифужным методом и входит в первую пятерку мировых производителей изотопов.

Центробежные каскады являются гибкими производственными системами, которые дают возможность изменения номенклатуры выпускаемой продукции при минимальных сроках между наработкой ограниченных партий, удовлетворяющих специфическим требованиям конкретных заказчиков. Современный каскад с перестраиваемой конфигурацией позволяет в течение нескольких дней перейти к наработке другого целевого изотопа с использованием рабочего вещества с другими физико-химическими характеристиками. При этом может быть обеспечено повышение концентрации целевого изотопа, как в легкой, так и в тяжелой части изотопного интервала разделяемого элемента.

Сейчас номенклатура изотопной продукции, выпускаемой ОАО «ПО ЭХЗ», насчитывает 95 изотопов 19 химических элементов. По многим изотопам осуществляется полный технологический цикл: от изготовления рабочего вещества, проведения процессов разделения стабильных изотопов на газовых центрифугах до получения из газообразных полупродуктов товарных форм стабильных изотопов, необходимых для потребителей.

Сегодня ПО «ЭХЗ» обладает наиболее совершенным высокотехнологичным производством стабильных изотопов, которое ориентировано в первую очередь на наработку больших партий продукции с высокой степенью обогащения, что позволяет наработать сотни килограмм различных изотопов в возможно короткие сроки по относительно низкой стоимости.

## СЕРНОКИСЛОТНОЕ ОБЕЗМЕЖИВАНИЕ МЕДНО-ЗОЛОТЫХ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

А.А. Маслов

Томский политехнический университет

Основным методом вскрытия флотационных концентратов медно-сульфидных руд, содержащих самородное золото, остаётся пирометаллургический. Концентраты медно-сульфидных руд России перерабатываются преимущественно на медеплавильных заводах Урала. Золото концентрируется в шлаках восстановительной рафинировочной плавки меди, откуда выщелачивается растворителями.

Предложен и опробован гидрометаллургический метод подготовки концентратов к выщелачиванию золота растворами комплексообразователей. Сущность метода заключается в безавтоклавной обработке концентрата серной кислотой при повышенной температуре. Метод опробован на медно-золотом флотоконцентрате руд Горного Алтая. Высокие содержания меди в концентрате (10-20% масс.), железа (5-7% масс.), серы (до 6% масс.) препятствуют эффективному выщелачиванию золота цианистыми растворителями. Обработка концентрата 90-93%-ной серной кислотой при температуре 200-250°C и непрерывном перемешивании в течение 4-5 часов с последующим выщелачиванием водой растворимых сульфатов снижает содержание меди в твердом остатке до 0,1-0,25% масс. и сырья до 0,5% масс. Такие остаточные содержания позволяют с высокой степенью извлечения перевести золото из твёрдого остатка в раствор цианированием по классической технологии.

## ФТОРПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Андреев, А.С. Кантаев

Томский политехнический университет

Развитие таких отраслей, как химическая, машиностроительная, нефтедобыча и нефтепереработка, атомная и других предъявляют все более и более жесткие требования к конструкционным материалам и изделиям. В середине XX века открыли новый тип полимера – это политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт – 4 или тефлон). Это полимер, в котором атомы водорода полностью замещены на атомы фтора, такое строение обуславливает уникальный набор его свойств. Слабая адгезия к металлическим поверхностям – это один из решающих факторов ограничивающих применение ПТФЭ в качестве конструкционного материала аппаратов. Изготовление реакторов большого объема и изготовление магистральных трубопроводов из ПТФЭ экономически не целесообразно. Создание химически и термически стойкого покрытия на поверхности металла – идеальный вариант конструкционных материалов в химической промышленности. Проблему, возможно, решить созданием полимерных композиций на основе ПТФЭ и вводимого модификатора. Одним из способов получения таких композиции является термодеструкция ПТФЭ с последующей сублимацией продуктов.

В качестве модификатора использовали гидродифторид аммония. Смеси  $\text{NH}_4\text{HF}_2$  и ПТФЭ различного состава помещали в установку, которая состоит из обогреваемого реактора и емкости для улавливания. В емкость для улавливания налита вода, необходимая для удаления из сублимата избытка  $\text{NH}_4\text{HF}_2$ . В результате проведенных исследований синтезирован принципиально новый фторорганический порошок (ФОП), который характеризуется устойчивостью в агрессивных средах. ФОП с ацетоном образует эмульсии, которые можно нанести на металлические поверхности и получить на них слой фторполимера. При использовании гидродифторида аммония, как модификатора, получаем фторполимер, который имеет в своей структуре группы  $-\text{NH}$  и  $-\text{CN}$  (доказано методом ИК-спектроскопии), они и обеспечивают способность к растворению в кетонах данного продукта (растворимость 0,5...5 г/л в зависимости от количества вводимой добавки). Отсюда выявляется область применения синтезированного порошка, для применения в чистом виде – для создания антикоррозионного, химически стойкого покрытия или футеровки, а также как добавку в лакокрасочные материалы.

Объектом дальнейших исследований является внедрения в структуру ПТФЭ фторметаллатов аммония (гексафторосиликат аммония и гесафторотитанат аммония) для модифицирования механических свойств.

## ДЕЗАКТИВАЦИЯ ОБРАЗЦОВ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УРАН-ГРАФИТОВЫХ РЕАКТОРОВ В ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СРЕДАХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЯХ

И.Д. Брус, Н.С. Тураев

Томский политехнический университет

После вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) необходимо очистить оборудование от радиоактивных изотопов до санитарных норм ( $24 \beta$  - частиц/см<sup>2</sup> мин и 0,2 мкЗв/час для  $\gamma$ -излучения), что позволит вернуть в народное хозяйство ценные металлы, а так же локализовать извлеченные радиоизотопы в субстанции, пригодные для длительного безопасного хранения.

Для изучения зависимости степени дезактивации от состава растворов, температуры, интенсивности ультразвука, времени озвучивания на реакторном заводе Сибирского химического комбината была смонтирована ультразвуковая установка, состоящая из УЗ-генератора УЗГ-3-10, УЗ – ванны с преобразователем ПМС-6-22.

Дезактивации подвергались образцы из нержавеющей стали Х18Н9Т, вырезанные из труб горячей и холодной линии первого контура промышленного уран-графитового реактора (ПУГР).

Начальная и конечная радиоактивность внутренних поверхностей образцов определялись приборами ДКС-96 ( $\beta$  – излучение) и МКС-11-17 ( $\gamma$ - излучение).

В оптимальных условиях (температура 45-55°C, интенсивность ультразвука 2-3 Вт/см<sup>2</sup>) лучшие результаты получены при следующих составах раствора: 1) 5% HNO<sub>3</sub> + 0,5% H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + 0,5% NH<sub>4</sub>F + 0,5% ЭДТА (этилендиаминтетрауксусная кислота); 2) 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 1,5% K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Для первого состава раствора при начальной активности образцов 860  $\beta$  - частиц/см<sup>2</sup> мин и 3,7 мкЗв /час). Полная очистка от  $\beta$  – излучателей достигается за 5 минут.  $\gamma$  – излучатели удерживаются на поверхности образцов сильнее. Очистка до санитарной нормы (0,2 мкЗв/час) достигается за 15 минут. Для второго состава при исходной активности 1330  $\beta$ -частиц/см<sup>2</sup>мин и 6,5 мкЗ в/час за 35 минут достигалась полная очистка от  $\beta$ -излучателей и очистка до санитарной нормы по  $\gamma$ -излучению.

Таким образом, результаты экспериментов показывают, что ультразвуковой метод дезактивации может быть использован для очистки оборудования реакторного завода до санитарных норм.

Список литературы

1. Брусов К.Н., Крутиков П.Г., Осминин З.С., Чекмарев А.М. Продукты коррозии в контурах атомных станций. - М.: Энергоатомиздат 1988.

## О МЕХАНИЗМЕ УДАЛЕНИЯ $\beta$ - И $\gamma$ - АКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ПЕРВОГО КОНТУРА ПРОМЫШЛЕННОГО УРАН-ГРАФИТОВОГО РЕАКТОРА

И.Д. Брус, Н.С.Тураев

Томский политехнический университет

В активной зоне атомного реактора происходит активизация металлов хромоникелевых нержавеющей сталей, из которых изготовлены трубопроводы первого контура. Могут протекать ядерные реакции как на медленных нейтронах:  $^{59}\text{Co}(n,\gamma) ^{60}\text{Co}$  и  $^{50}\text{Cr}(n,\gamma) ^{51}\text{Cr}$ , так и на быстрых нейтронах:  $^{58}\text{Ni}(n,p) ^{58}\text{Co}$  и  $^{54}\text{Fe}(n,p) ^{54}\text{Mn}$ .

На внутренней поверхности первого контура металлы (Fe, Cr, Ni, Co) подвергаются коррозии, попадают в теплоноситель и с ним в активную зону реактора, где подвергаются облучению нейтронами. Часть активированных продуктов коррозии (ПК) могут адсорбироваться на оксидной пленке, образовавшейся в результате коррозионного действия воды. ПК образуют два слоя: верхний красноватого цвета, состоящий в основном из гематита с небольшим добавлением хрома, никеля, марганца, и нижнего слоя черного цвета, плотно сцепленного с поверхностью металла. В этом слое обнаружены: магнетит и смешанные оксиды  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$  с прочной кристаллической структурой шпинели. На оксидной пленке сорбируются также  $\beta$ -излучатели  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  – продукты деления  $^{235}\text{U}$ , которые поступают из тепловыделяющих элементов при нарушении их герметичности. Замечено, что  $\beta$ -активность снимается легче, чем  $\gamma$ -активность. Сняты  $\gamma$ -спектры выпаренного раствора дезактивации и твердых ПК, снятых с металла при действии ультразвуковой кавитации. В  $\gamma$ -спектре твердой фазы выделяются интенсивные фотоники  $^{60}\text{Co}$  с энергиями 1173,09 кэВ и 1331,3 кэВ, просматриваются фотопики  $^{241}\text{Am}$  (59,59 кэВ), пику 121,86 кэВ могут соответствовать  $^{152}\text{Eu}$  и  $^{57}\text{Co}$ . В  $\gamma$ -спектре соли, полученной путем выпарки растворов после дезактивации, имеются пики тех же изотопов, что и в  $\gamma$ -спектре твердой фазы, но с различным отношением площадей фотопиков  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  (24 для твердой фазы и 0,4 – для раствора).

Отсюда можно сделать вывод, что цезий и стронций легко переходят в раствор, прочные шпинели, куда входят  $\gamma$ -излучатели, в том числе и  $^{60}\text{Co}$ , растворяются очень трудно и значительная их часть отделяется от металла только при действии ультразвуковой кавитации.

### Список литературы

1. Брусов К.Н., Крутикова П.Г., Осминин З.С., Чекмарев А.М. Продукты коррозии в контурах атомных станций. - М.: Энергоатомиздат. 1988.

## ГИДРОКСИАПАТИТ – МАТЕРИАЛ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О.А. Лелюк, А.С. Крикуненко, Л.А. Леонова

НИ Томский политехнический университет  
Lelyuk\_O@mail.ru

Последствием бурного развития атомной энергетики, растущего применения ионизирующих источников излучения в народном хозяйстве и медицине явилось повсеместное радиоактивное загрязнение биосферы. Одним из перспективных методов решения этой проблемы является сорбция тяжелых металлов при очистке различных объектов окружающей среды [1] и выведении из организма человека при отравлении ими [2], а также накопление радионуклидов из окружающей среды [3]. Привлекательным в этом отношении материалом является гидроксипатит (ГА), известный своими сорбционными свойствами по отношению к целому ряду катионов и анионов, в том числе к тяжелым металлам и радионуклидам [4].

В литературе встречаются работы, посвященные сорбции различных катионов на ГА [5], в частности сорбции урана [4, 6]. Целью настоящей работы является изучение возможности использования синтезированного гидроксипатита для извлечения уранил-иона. В основу работы положена разработка технологии получения микрокристаллического гидроксипатита. Синтез ГА был осуществлен в режиме гомогенного осаждения из водных растворов с применением комплексообразователя (соли ЭДТА). Определены оптимальные условия получения ГА. В настоящее время исследуется сорбционная емкость синтезированного гидроксипатита по отношению к уранил-иону в слабokonцентрированных растворах.

### Список литературы

1. Chen X., Wright J.V., Conca J.L. et al. // Water, Air, and Soil Pollution. 1997. V. 98. P. 57–78.
2. Кулюхин С.А., Красавина Е.П., Мизина Л.В. и др. // Радиохимия. 2005. Т. 47. № 1. С. 80–84.
3. Китикова Н.В., Половинкин Л.В., Ушков А.А. и др. // Токсикологический вестник. 2006. № 1. С. 12–16.
4. Хрестенко Р.В., Рудин В.Н., Калмыков С.Н., Мелихов И.В. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. № 5. С. 52–57.
5. Suzuki B.T., Hatsushika T., Miyake M. // J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1984. V. 80. P. 3157–3165.
6. Jeanjean J., Rouchard J. C., Tran L., Federoff M. // J. Radioanal. Nucl. Chem. Lett. 1995. V. 291. P. 529–539.

## ТИОСУЛЬФАТНО-ЦИАНИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТА ИЗ БИООКИСЛЕННОГО ФЛОТОКОНЦЕНТРАТА

Г.В. Саенко

ЗАО «Полюс», г. Красноярск

Основной современный способ извлечения золота из коренных руд - цианидное выщелачивание всей массы руды с последующей сорбцией на анионообменные смолы или активированный уголь («сорбент в пульпе»). Конечный продукт - лигатурный сплав Доре, подвергаемый дальнейшему аффинажу. Запасы коренных руд постепенно истощаются и в промышленную переработку вовлекаются упорные золотосодержащие руды. Упорными золотосодержащими рудами считаются руды с высоким содержанием сульфидов, в частности мышьяковистые, с примесью минеральной органики.

Прямое цианирование таких руд не позволяет достигнуть высокого «вскрытия» - 50-70%. Переработка упорных золотосодержащих руд требует применения специальных методов предварительной обработки перед традиционным цианидным выщелачиванием, таких как: тонкое механическое вскрытие, окислительный обжиг, автоклавное окисление, биовыщелачивание.

Промышленный способ бактериального выщелачивания реализован на Олимпиадинской золотоизвлекательной фабрике в Красноярском крае (ЗАО «Полюс»). Рудообразующие минералы представлены пирротинном, арсенопиритом, пиритом, антимонитом, сульфосоли сурьмы, халькопиритом, кварцем и слюдами. На конечном этапе биоокисления претерпевают фазовые изменения почти все сульфидные минералы: более активно замещаются оксидами пирротин и арсенопирит, менее – антимонит и халькопирит. Биопульпа после процесса бактериального окисления флотоконцентрата обычно содержит 1-3% сульфидной серы.

Гидрометаллургическая переработка флотоконцентрата после биоокисления включает несколько этапов: предварительная обработка пульпы кислородом и сорбционное выщелачивание с применением цианида натрия. В процессе насыщения пульпы кислородом происходит окисление оставшейся серы и переход ее в тиосульфатную форму. Образующийся тиосульфат-ион участвует в реакции растворения золота, тем самым позволяя повысить извлечение золота из пульпы.

Результаты проведенных лабораторных тестирований показывают, что применение процесса предварительного окисления кислородом флотоконцентрата, прошедшего бактериальное выщелачивание, позволяет перевести часть золота в раствор до операции цианидного выщелачивания.

## ПЛАМЕННОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ УРАНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Ю.В. Островский<sup>1</sup>, А.Л. Хлытин<sup>2</sup>, А.Ю. Островский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО НПЦ “ЭЙДОС”  
<sup>2</sup>ОАО “НЗХК” г. Новосибирск

В процессе производственной деятельности ОАО “НЗХК” происходит накопление жидких органических радиоактивных отходов (ЖОРО), содержащих в своем составе отработанные индустриальные и вакуумные масла, экстракционные смеси, загрязненные соединениями урана, различной степени обогащения.

Технология каталитического окисления ЖОРО в кипящем слое [1] не позволяет обезвреживать всю номенклатуру имеющихся органических отходов, поскольку отработанные экстракционные смеси содержат в своем составе фосфор, являющийся каталитическим ядом.

Расширить диапазон обезвреживаемых отходов можно за счет пламенного сжигания. Для сжигания смеси, состоящей из экстрагента, индустриального и вакуумного масел разработана и испытана установка, которая содержит в своем составе ядерно-безопасный пламенный реактор циклонного типа ( $D_{\text{вн}} = 110$  мм), пенно-струйный скруббер для охлаждения дымовых газов и улавливания твердых и газообразных загрязняющих веществ и абсорбер-конденсатор для финишной доочистки газового потока до установленных норм. Параметры установки представлены в таблице.

Таблица – Параметры установки пламенного сжигания ЖОРО

№	Характеристика	Размерность	Величина
1	Производительность	кг/ч	до 1,5
2	Температура сжигания	$^{\circ}\text{C}$	не более 1100
3	Габариты	мм	1750x800x2700
4	Потребляемая мощность	кВт	не более 2,5

Были проведены пробные испытания по сжиганию смеси чистых, не содержащих уран индустриальных масел Morlina 5, Omala 68, вакуумного масла VM-4 и экстракционной смеси трибутилфосфат – РЭД-3М, полученные результаты показывают, что установка пламенного сжигания обеспечивает практически полное их обезвреживание. Концентрация СО на выходе  $\leq 100$  мг/м<sup>3</sup>

### Список литературы

1. Исмагилов З.Р., Островский Ю.В. и др. Технология обезвреживания жидких органических отходов // Вопросы радиационной безопасности. 2001. №4(24). С.30 – 37.



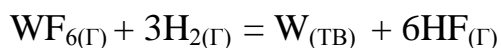
## ФТОРИДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЧИСТЫХ ВОЛЬФРАМОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

В.И. Выбыванец, В.В. Косухин, А.В. Черенков, Г.С. Шилкин

ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск

E-mail: vvi @ istok. sialuch. ru

В ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» разработан технологический процесс получения вольфрамовых изделий (жаропрочные тигли, распыляемые мишени, аноды рентгеновских трубок, нагреватели и конструкционные элементы высокотемпературных установок) методом водородного восстановления гексафторида вольфрама. Сущность метода заключается в гетерогенном осаждении вольфрама на нагретой поверхности по реакции:



Благодаря уникальным физико-химическим свойствам гексафторида вольфрама, фторидная технология имеет ряд существенных преимуществ перед методами порошковой металлургии, а именно:

- возможность получения вольфрамовых осадков высокой чистоты;
- возможность получения осадков с практически теоретической плотностью;
- возможность регулирования структуры осадка по его толщине;
- возможность получения изделий сложной геометрической формы с высокой степенью чистоты обработки внутренних поверхностей изделий;
- возможность нанесения защитных покрытий на изделия сложной геометрической формы.

Для реализации этих преимуществ разработаны методы и аппаратура для глубокой очистки исходных материалов ( $\text{WF}_6$ ,  $\text{H}_2$ ) от примесей, оптимизированы конструкции реакционных камер и технологические режимы осаждения применительно к конкретным видам и типоразмерам изделий, разработаны методы улавливания и выделения из газообразных продуктов, выходящих из аппаратов восстановления, непрореагировавшего гексафторида вольфрама, его очистки, и направления в голову процесса. В технологический процесс изготовления изделий из вольфрама в «НИИ НПО «Луч» в качестве обязательного передела включена глубокая очистка гексафторида вольфрама от примесей методом ректификации и водорода от кислорода влаги и пыли с использованием очистителя баллонных газов. В докладе представлены принципиальная блок-схема и схема установки для производства вольфрамовых изделий методом водородного восстановления гексафторида вольфрама. Также приведены номенклатура и технические характеристики получаемых изделий, согласованные с потребителями.

## КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

М.А. Финк

ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор», г. Лесной

Проблема утилизации отходов актуальна для любой отрасли производства. Особое внимание необходимо уделять отходам специальных производств предприятий атомной промышленности.

В данной работе рассмотрены вопросы утилизации жидких радиоактивных отходов, накопленных на ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор» в результате деятельности основных производств.

Выполнены исследования по переводу данных видов отходов в безопасное состояние, позволяющее осуществлять их захоронение в соответствии с существующими нормами и правилами.

### Список литературы

1. НРБ-99/2009 Нормы радиационной безопасности СП 2.6.1.758-99.
2. ОСПОРБ-99 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. Санитарные правила СП 2.6.1.799-99.
3. СПОРО-2002 Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами. СП 2.6.6.1168-02.
4. НП-19-2000 «Сбор, переработка хранение и кондиционирование ЖРО. Требования безопасности». М 2001 г.
5. Техническая справка РФЯЦ-ВНИИТФ по обращению РАО.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ $\text{KBrF}_4$ МЕТОДОМ ФТОРИРОВАНИЯ БРОМИДА КАЛИЯ

Р.В. Оствальд, В.В. Шагалов, Р.М. Власевский, С.И. Ивлев, И.И. Жерин

Томский политехнический университет  
Ostvald@tpu.ru

В технологии редких элементов важное место занимают процессы окислительного фторирования – это процессы получения фтористых соединений с окислением элементов до высшей степени окисления. В качестве фторирующего агента наиболее широкое применение получил фтор, однако не во всех случаях возможно его применение. При окислительном фторировании также используются галогенфториды, которые обладают высокой химической активностью, сравнимой с фтором, однако процессы с участием фторидов галогенов могут проходить при более низких температурах.

Для окислительного фторирования неорганических веществ наиболее перспективно использование тетрафторброматов щелочных металлов. Эти соединения могут быть использованы в качестве удобной и относительно безопасной формы хранения и транспортировки трифторида брома. При термическом разложении этих соединений  $\text{BrF}_3$  образуется в газовой фазе, вступая во взаимодействие с реакционной массой.

В данной работе изучен метод получения тетрафторбромата калия взаимодействием газообразного фтора с порошком бромида калия, определены основные стадии и условия протекания данного процесса.

Разработана экспериментальная установка, изучена кинетика взаимодействия фтора и бромида калия термогравиметрическим методом. Определена и описана термическая устойчивость соединения в различных средах и в диапазоне температур, в которых предполагается его синтез и применение. По результатам исследования определены область реагирования и факторы, влияющие на интенсификацию реакции, определена энергия активации для процесса синтеза тетрафторбромата калия.

### Список литературы

1. Николаев Н.С., Суховерхов В.Ф. Химия галоидных соединений фтора. – М.: Наука, 1968. – 348с.
2. Попов А. И., Киселев Ю. М., Суховерхов В. Ф., Чумаевский Н. А., Краснянская О. А., Садикова А. Т. // Журнал неорганической химии. 1987. Т. 32. Вып. 3. С. 262–273.
3. Попов А.И., Киселев Ю.М., Суховерхов В.Ф., Чумаевский Н.А., Краснянская О.А., Садикова А.Т. // Журнал неорганической химии. – 1987 – т. 32 – вып. 3 – с. 262–273.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ШНЕКОВОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕТРАФТОРОБРОМАТА КАЛИЯ

Р.В. Оствальд, В.В. Шагалов, А.М. Токарев, В.И. Соболев, И.И. Жерин

Томский политехнический университет  
Ostvald@tpu.ru

Целью данной работы является оценка приемлемости метода фторирования бромида калия в качестве промышленного способа получения  $\text{KBrF}_4$ . Первоначально были проведены исследования термической устойчивости в атмосфере фтора  $\text{KBrF}_4$ , полученного методом взаимодействия  $\text{KF}$  и  $\text{BrF}_3$ . Результаты указали на разрушение данного комплекса при температурах выше  $80\text{ }^\circ\text{C}$ . Активное разложение комплекса проходит при температурах более  $100\text{ }^\circ\text{C}$  [1].

Были проведены кинетические исследования процесса фторирования  $\text{KBr}$  при температурах от  $50$  до  $80\text{ }^\circ\text{C}$ . Обработка данных, описывающих зависимость изменения массы от времени, указывает, что степень превращения  $\text{KBr}$  в статических условиях составляет менее  $70\%$ . Рассчитанное по результатам исследований значение кажущейся энергии активации составило  $E_a = -17\text{ кДж/моль}$ .

Значение энергии активации указывают на протекание процесса во внешней диффузионной области реагирования, следовательно, степень реагирования можно увеличить применением перемешивания реакционной массы, а так же увеличением дисперсности бромида калия.

В качестве промышленного прототипа был выбран горизонтальный шнековый реактор. Проведен расчёт и изготовлена экспериментальная установка. В ходе проведения испытания реактора были определены технологические параметры получения  $\text{KBrF}_4$ . Оптимальной является температура  $70\div 80\text{ }^\circ\text{C}$ , соотношение  $\text{F}_2$  к  $\text{KBr}$   $3,5\div 4 : 1$ , режим фторирования – прямоточный. Степень реагирования составила  $73\div 80\%$ .

Полученные порошки были проанализированы титриметрическими и термогравиметрическими методами анализа, а так же сделаны микрофотографии порошков.

На основе полученных данных, на кафедре освоена методика получения килограммовых количеств тетрафторобромата калия для последующего использования в научных целях сотрудниками института неорганической химии им А.В. Николаева СО РАН.

### Список литературы

1. R.V. Ostvald, V.V. Shagalov, I.I. Zherin, Book of Abstracts 19th International Symposium on Fluorine Chemistry 2009 129.

## ФТОРИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИРИДИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФТОРОКИСЛИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТРИФТОРИДА БРОМА

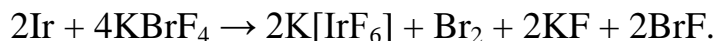
В.В. Шагалов, В.И. Зюбанова, Е.В. Гребенюк, Р.В. Оствальд, И.И. Жерин

Томский политехнический университет

E-mail: shagalov@tpu.ru

Целью данной работы являлось исследование условий и характера взаимодействия раствора тетрафторобромата калия в трифториде брома, а также расплава тетрафторобромата калия с металлическим иридием.

Взаимодействие металлического иридия с тетрафтороброматом калия протекает с образованием гексафтороиридата(V) калия [1]:



При изучении реакции определялась степень превращения Ir для навесок массой до 0,5 г в зависимости от времени растворения т. Эксперименты проводились в тефлоновом реакторе в изотермических условиях при 373; 388; 398 и 403 К и временем реагирования до 6 часов.

Применение растворов на основе  $\text{BrF}_3$  ограничивается его температурой кипения, поэтому дальнейшие исследования процесса растворения иридия при более высоких температурах проводилось в расплаве только тетрафторобромата калия.

С этой целью вещества смешивались в массовом соотношении  $\text{Ir}:\text{KBrF}_4=1:10$ , и проводилось растворение в стеклоуглеродном реакторе при температуре 673 К в атмосфере аргона.

По полученным результатам определены кинетические закономерности процесса растворения Ir в жидком  $\text{BrF}_3$  в температурном интервале 373÷403 К. Установлено, что лимитирующей стадией процесса является химическая реакция: кажущаяся энергия активации процесса составляет 107 кДж/моль. Растворение иридия в расплаве  $\text{KBrF}_4$  при 673 К происходит со значительно меньшей скоростью, чем скорость, рассчитанная на основе экстраполяционных данных. Это различие может указывать на изменение механизма реакции при изменении фторирующего агента от смеси трифторида брома с тетрафтороброматом калия на расплав тетрафторобромата калия.

### Список литературы

1. Mitkin V.N. Fluorination of Iridium Metal and its Application Possibilities in the Synthesis, Analysis and Recovery Technology for Secondary Raw Materials // Iridium: Proc. of Intern. Symp. TMS-2000.– P. 377–390.

## ПЕРЕРАБОТКА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕТРАФТОРОБРОМАТА КАЛИЯ

В.В. Шагалов, К.В. Бобровская, А.М. Токарев, Р.В. Оствальд, И.И. Жерин

Томский политехнический университет

E-mail: shagalov@tpu.ru

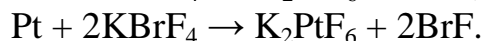
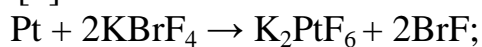
Исследования высокотемпературного фторирования с применением жидких фторирующих реагентов было рассмотрено еще I. Sheft, A. F. Martin and J. J. Katz [1] в 1955 году. Нами были рассмотрено практическое применение тетрафторобромата калия для переработки отработанных катализаторов на основе благородных металлов, в частности, сплавов благородных металлов либо с вольфрамом, либо с молибденом, с целью извлечения ценных компонентов и получения легко растворимых солей благородных металлов.

Применение гидрOMETаллургических методов переработки данных материалов осложнено высокой химической стойкостью данных материалов к минеральным кислотам.

Для решения данной задачи были проведены исследования взаимодействия жидкого трифторида брома и расплава тетрафторобромата калия для отделения вольфрама и молибдена в виде летучих гексафторидов от благородных металлов. Полученные гексафториды направляются на стадию конденсации и/или улавливания для дальнейшей переработки. Процесс фторирования осуществлялся в температурном диапазоне 400–450 °С.



Благородные металлы при этом переходят в нелетучие фторидные комплексные соединения [2]:



Полученные растворимые фторидные комплексные соединения благородных металлов выделяются в чистом виде химическим либо электрохимическим осаждением. Полученные продукты анализировались на рентгено-флюорисцентном спектрометре Quant`X (Thermo Scientific, США) и спектроскан МАКС-G (НПО "Спектрон", Россия).

Список литературы

1. Sheft I., Martin A. F., Katz J.J. // J. Am. Chem. Soc. 1956. 78 (8). P. 1557–1559.
2. Mitkin V. N. // Spectrochimica Acta. B. V. 56. 2001. P. 135–175.

## АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ К ОЦЕНКЕ ИЗОТОПНЫХ СДВИГОВ СЕРЫ И СВИНЦА В СПЕКТРАХ РАМАНА

О.С.Андриенко<sup>1</sup>, Н.Б.Егоров<sup>2</sup>, И.И.Жерин<sup>2</sup>, О.Х. Полещук<sup>3</sup>, Э.Д.Цыденова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

<sup>3</sup>Томский государственный педагогический университет

В настоящее время, благодаря, отработанной технологии разделения стабильных изотопов стало возможно получать высокочистые материалы практически со 100%-ным однородным по различным изотопам составом. Это повлекло за собой многочисленные исследования влияния моноизотопного или изотопноизмененного состава на их термодинамические, структурные и оптические свойства. В данных работах наряду с получением экспериментальных результатов проводятся попытки разработать теоретические расчетные модели с различным приближением, хорошо воспроизводящие зависимости между изотопным составом и свойствами материалов, что позволит с большой точностью предсказывать их физико-химические свойства.

В настоящей работе был проведен анализ применимости методов функционала плотности, как одного из наиболее распространенных квантово-химических методов, к оценке изотопных сдвигов серы и свинца в спектрах Рамана. При проведении квантово-химических расчетов нами использован самый современный стандартный пакет программ GAUSSIAN'03W.

Полученные экспериментальные расчетные результаты показывают, что если частоты в спектрах Рамана изотопов серы отличаются на несколько  $\text{см}^{-1}$ , то для изотопов свинца вследствие большой атомной массы такие отличия находятся в пределах десятых  $\text{см}^{-1}$ . Однако они все равно достаточно значимы и обратно пропорциональны изотопным массам.

Зависимости между экспериментальными и рассчитанными частотами колебаний в спектрах Рамана для элементных свинца и серы, состоящих соответственно из 14 и 8 атомов описываются следующими уравнениями:

для Pb  $\omega(\text{эксп.}) = 1,7 + 1,03\omega(\text{расч.})$   $r=0.998$ ;  $sd=9$ ;  $n=9$  (базис SDD)

для S  $\omega(\text{эксп.}) = 8,4+0,975 \omega(\text{расч.})$   $r=0.999$ ;  $sd=5.2$ ;  $n=25$  (базис 6-31G(d))

*Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы», проект 2.1.1/734.*

## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ АДАПТАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕОЛИТНОГО ПРОИЗВОДСТВА. ОСВОЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОАО «НЗХК»

А.И. Терентьев<sup>1</sup>, А.Л. Хлытин<sup>1</sup>, А.В. Восьмериков<sup>2</sup>, Н.А. Юркин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО "Новосибирский завод химических концентратов"

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт химии нефти СО РАН

Тенденцией развития атомной отрасли в последние годы является повышение эффективности промышленного производства. В результате проведения реструктуризации производств на предприятиях ядерно-топливного цикла, происходит высвобождение зданий, сооружений, технологического оборудования и, в том числе, людских ресурсов. Для эффективного их использования в ОАО «ТВЭЛ» действует программа развития так называемых неядерных проектов, в рамках которой на ОАО «НЗХК» создано современное крупнотоннажное производство цеолитных катализаторов типа ZSM-5 для нефтеперерабатывающей промышленности.

В процессе постановки технологии изготовления цеолитных катализаторов на промышленное производство нами решалась задача выхода на уровень проектной мощности производства 150 т катализаторов в год. Для этого необходимо было провести работу по оптимизации всех технологических процессов, которую невозможно было осуществить на лабораторном оборудовании: оптимизация процесса кристаллизации цеолитов в промышленном автоклаве, отработка режимов выделения осадков цеолитов из различных пульп с помощью центрифуги и т.д. Проводились работы и по совершенствованию технологии получения цеолитных катализаторов, способствующих получению цеолитов превосходящих требуемые физико-химические свойства, улучшению эффективности производства катализаторов, снижению количества стадий промывок осадков цеолитов, возвращению в техпроцесс образующихся технологических растворов.

После введения в действие технического регламента производства моторных топлив на ОАО «НЗХК» начата работа по промышленному освоению катализаторов нового поколения – элементноалюмосиликатов со встроенными в кристаллическую решётку цеолита гетероэлементами. Испытания катализаторов на различном нефтяном сырье показали возможности получения, в частности, высокооктановых бензинов, характеризующихся эксплуатационными показателями, соответствующими требованиям, предъявляемым техническим регламентом к автобензинам 3-5 класса.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕАЛКИЛИРОВАНИЯ ТЕТРАМЕТИЛСВИНЦА

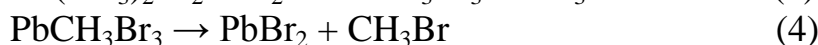
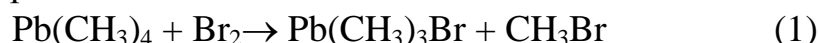
О.С. Андриенко\*, Н.Б. Егоров, И.И. Жерин, Д.В. Индык, Э.Д. Цыденова

\*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск  
Томский политехнический университет

Для получения изотопов элементов, имеющих летучие соединения, применяют центрифужный метод разделения, что связано с его достаточно высокой производительностью и экономической эффективностью. Обогащенные центрифужным методом стабильные изотопы за исключением инертных газов применяются в основном в твердофазном состоянии, как правило, в элементном виде или в виде оксидов. Поэтому требуются специальные технологии, позволяющие доводить изотопнообогащенные вещества до товарной формы.

В качестве рабочего вещества при разделении стабильных изотопов свинца используется его летучее соединение – тетраметилсвинец ( $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ ), физико-химические свойства которого хорошо изучены.  $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$  вследствие большого расстояния между атомами свинца и углерода термически и фотохимически неустойчив, а также способен к деалкилированию в присутствии галогенов или их содержащих веществ.

В настоящей работе рассмотрен процесс деалкилирования  $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$  бромом. Наблюдаемым конечным продуктом является  $\text{PbBr}_2$ . Его образование может быть следствием последовательного замещения метильных групп бромом и конечным распадом промежуточных метилбромидов свинца. При этом возможно протекание следующих химических реакций:



Для нахождения наиболее вероятного пути реакции взаимодействия  $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$  с  $\text{Br}_2$  был проведен расчет термодинамических характеристик и определены значения энергии Гиббса предполагаемых химических реакций (1) – (5). Был сделан вывод, что бромирование  $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$  протекает в две стадии с последовательным образованием  $\text{Pb}(\text{CH}_3)_3\text{Br}$  и  $\text{Pb}(\text{CH}_3)_2\text{Br}_2$ .  $\text{PbBr}_2$ , в свою очередь, образуется в результате разложения  $\text{Pb}(\text{CH}_3)_2\text{Br}_2$ .

Полученные расчетные данные также подтверждаются данными масс-спектрометрии. В составе газовой фазы термического разложения промежуточных метилбромидов свинца присутствуют ионы с массовыми числами: 15, 30 и 95, которые относятся к осколочным ион-радикалам:  $\text{CH}_3^+$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6^+$  и  $\text{CH}_3\text{Br}^+$ .

## СИНТЕЗ ЧАСТИЦ СВИНЦА В РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

О.С. Андриенко\*, Н.Б. Егоров, И.И. Жерин, В.Ф. Усов

\*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск  
Томский политехнический университет

Анализ последних литературных данных, указывает, что проведение химических реакций в растворах и расплавах представляет собой один из наиболее удобных способов для получения наночастиц с заданными свойствами. Инициация химической реакции и последующий контроль за процессами нуклеации и ростом центров кристаллизации являются основополагающими принципами химического синтеза наночастиц, а понимание сути этих процессов и уровень контроля над ними определяют успешность достижения цели – получения монодисперсных наночастиц с желаемым составом и формой. На формирование наночастиц влияют условия протекания реакции - тип реакции, используемый растворитель, температура синтеза, а также использование лигандов и поверхностно-активных веществ, специфически ведущих себя на возникающей границе раздела фаз и полностью или частично ограничивающих дальнейший рост твердой фазы.

В настоящей работе исследовали влияние растворителя на форму частиц свинца. Для синтеза частиц свинца был использован способ термического разложения стеарата свинца  $((C_{17}H_{35}COO)_2Pb)$  в органическом растворителе, нагретом до температуры, превышающей его устойчивость. В качестве растворителей  $(C_{17}H_{35}COO)_2Pb$  применяли глицерин, парафин, стеариновую кислоту, октиловый спирт и индустриальное масло (И – 40А).

При разложении  $(C_{17}H_{35}COO)_2Pb$  в стеариновой кислоте, октиловом спирте или индустриальном масле образуются частицы сферической формы, имеющие размер от 5 до 60 нм. В случае разложения в парафине были получены частицы квадратной и прямоугольной форм с размерами от 60 до 100 нм. При термолизе  $(C_{17}H_{35}COO)_2Pb$  в глицерине формируются частицы разветвленной цепочечной формы.

Также показано, что частицы свинца имеют органическую оболочку из продуктов разложения  $(C_{17}H_{35}COO)_2Pb$ , препятствующую их окислению на воздухе, агломерации и способствующую их растворению в органических растворителях. Полученные частицы свинца исследованы методами рентгенофазового и термического анализов и инфракрасной спектроскопии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы», проект 2.1.1/734.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НЕОДИМА ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ФТОРИДНО-ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ

В.А. Гребнев

Томский политехнический университет  
e-mail:Grebnev@.tpu.ru

Неодим относится к группе редкоземельных элементов и основное его применение – это изготовление высокоэнергетических постоянных магнитов.

Самым распространенным методом получения неодима сегодня является электролитическое восстановление из оксидно-фторидных расплавов в графитовом тигле с графитовыми анодами. На молибденовом или вольфрамовом катоде восстанавливается неодим и стекает в тигель-приемник (обычно графитовый). Температура процесса составляет около 1100 °С.

Нами же предложен другой технологический метод получения металлического неодима. Отличие его заключается в том, что выделившийся на катоде металл не стекает с катода, а осаждается на нем в виде твердого металла (катодная губка). К преимуществам предложенного метода относятся:

- 1) снижение температуры процесса с 1100 °С до 800 °С;
- 2) снижение количества испаряющегося в процессе электролиза расплава;
- 3) упрощение извлечения из электролизера металлического неодима;
- 4) невозможность повторного растворения металлического неодима в расплаве, ввиду его нахождения под катодным потенциалом.
- 5) снижение загрязнения полученного металла посредством контакта с тиглем.

Для проведения экспериментов была собрана лабораторная установка, состоящая из графитового тигля, который помещался в электропечь вертикального типа (2200 Вт). Время полного расплавления 1,5-2 часа. Температура процесса 800 °С. Напряжение электролиза  $U=1,5-3В$ . Объем тигля 36 см<sup>3</sup>. Площадь катода  $S_{раб}=0,47$  см<sup>2</sup>. Площадь анода  $S_{раб}=55,9$  см<sup>2</sup>. Состав расплава (%мол.): LiF - 79; NdF<sub>3</sub> - 20; Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1. Практическая плотность расплава 2,58 г/см<sup>3</sup>.

Определена оптимальная плотность тока:

Плотность тока на катоде  $i_k=6-10$  А/см<sup>2</sup> (материал катода W).

Плотность тока на аноде  $i_a=0,1$  А/см<sup>2</sup> (материал анода С-графит).

## НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА КАРБОГИДРАЗИДА В АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ

В.Н. Алексеенко<sup>\*</sup>, С.Н. Алексеенко<sup>\*</sup>, В.В. Бондин<sup>\*</sup>, С.И. Бычков<sup>\*</sup>,  
К.Н. Двоеглазов<sup>\*\*</sup>, В.И. Марченко<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>ФГУП «Горно-химический комбинат», Железногорск

<sup>\*\*</sup>ОАО «ВНИИНМ им. акад. А.А. Бочвара», Москва

Исследовано поведение карбогидразида,  $\text{CO}(\text{N}_2\text{H}_3)_2$ , в водных азотнокислых растворах. Установлено, что карбогидразид устойчив в растворах  $\text{HNO}_3$  при комнатной температуре и медленно разлагается при повышении кислотности и температуры. Ионы железа и технеция являются катализаторами процесса разложения, причем по каталитической активности они располагаются в ряду  $\text{Tc}(\text{VII}) > \text{Fe}(\text{III})$ . При упаривании азотнокислых растворов карбогидразида в присутствии этих ионов он полностью разлагается без образования осадка. Карбогидразид быстро взаимодействует с азотистой кислотой (при  $[\text{КГ}] = 0.2$  моль/л,  $[\text{HNO}_2] = 0.01$  моль/л и температуре  $\sim 20$  °С реакция завершается за время смешивания реагентов), при этом не обнаружено образования потенциально опасной азотистоводородной кислоты. Благодаря высокой скорости реакции с  $\text{HNO}_2$ , карбогидразид эффективно предохраняет плутоний(III) от окисления в растворах азотной кислоты и его применение для восстановления  $\text{Pu}(\text{IV})$  не требует дополнительного введения стабилизатора - антинитрита (гидразина).

Карбогидразид является эффективным реагентом для рекстракции плутония и нептуния из органических растворов трибутилфосфата, в том числе при ее осуществлении в экстракционных аппаратах с малой длительностью контакта фаз.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МАЛОВОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАСТВОРЕНИЯ ОЯТ ВВЭР-1000 И ОСВЕТЛЕНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ

И.Г. Ефремов, В.В. Бондин, С.И. Бычков

ФГУП «ГХК», г. Железногорск

Согласно программе «Создание опытно-демонстрационного центра по переработке ОЯТ на основе инновационных технологий для решения проблем обращения с накопленными объемами долгохранящегося ОЯТ» на 2007-2015 годы на ФГУП «ГХК» с участием специалистов ФГУП «НПО Радиевый институт им. Хлопина» (г. Санкт-Петербург) проводятся исследования по разработке следующих технологических переделов:

- «газовая» конверсия (растворение) ОЯТ ВВЭР-1000 в смеси тетраоксида азота и воды для получения высококонцентрированных растворов нитрата уранила, содержащих актиниды и продукты деления;
- осветление высококонцентрированных растворов путем фильтрации через мембрану и центрифугирования на высокоскоростной центрифуге.

Исследования проводятся на лабораторной установке «газовой» конверсии (ГК). Установка ГК размещена в защитной камере. Дистанционное выполнение рабочих операций в технологической зоне камер обеспечивается манипуляторами М-22. При проведении процесса «газовой» конверсии использовали ОЯТ в виде фрагментов ТВЭЛов ОТВС реактора ВВЭР-1000, с выгоранием 48-53МВт·сут/(кг U), выдержкой 16 лет. Масса топлива, загружаемого в реактор, составляла 75-100 г. «Газовую» конверсию проводили в смеси тетраоксида азота и воды в присутствии кислорода. Исследования по осветлению высококонцентрированных растворов имитаторов и реального ОЯТ методом центрифугирования проводили на высокоскоростных центрифугах Z36НК (Германия) и MICRO-22R. Качество осветления растворов определяли путем измерения значений их оптической плотности на приборе КФК-2-01 и мутности на приборе НАСН 2100AN IS V2.2. Температура раствора, поступающего на центрифугирование, составляла 90°C. Результаты исследований показали, что при конверсии ОЯТ в выше описанных условиях образуется высококонцентрированный раствор с плотностью 2181±43 г/л. В результате измерений определено, что в продукте концентрация урана изменяется, в зависимости от состава реакционной смеси, от 700 до 1010 г/л. При осветлении высококонцентрированных растворов нитрата уранила методом центрифугирования было установлено, что требуемое качество осветления достигается при угловой скорости ротора не менее 10000 об/мин и факторе разделения 4800.

## ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ДИСТАНЦИОННО- ОБСЛУЖИВАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОЛОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ

И.Г. Ефремов, В.В. Бондин, С.И. Бычков  
ФГУП «ГХК», г. Железногорск

На ФГУП «ГХК» проводятся исследования «головных» операций по переработке ОЯТ ВВЭР-1000 в рамках создания на предприятии ОДЦ.

Возможность применения высококонцентрированных растворов ОЯТ на основе нитрата уранила в качестве исходных растворов в перспективных разработках маловодных технологий радиохимического производства требует разработки надежных конструкций различных типов оборудования. Цель работы – создание экспериментальных установок и базы данных для проектирования промышленных образцов и совершенствования технологии переработки отработавшего ядерного топлива; получение экспериментальных данных по основным свойствам высококонцентрированных растворов ОЯТ; определение поведения газообразных продуктов при переработке ОЯТ; обобщение и использование полученных результатов в практических целях при разработке ОДЦ на ФГУП «Горно-химический комбинат».

Для ее достижения выполняются исследования, включающие решение следующих задач:

- 1) создание экспериментальных установок и исходных данных для выбора и совершенствования технологии переработки ОЯТ;
- 2) разработка и совершенствование методов аналитического контроля основных параметров технологического процесса;
- 3) изучение закономерностей растворения ОЯТ в системе тетраоксид азота – вода – кислород;
- 4) экспериментальное определение условий осветления высококонцентрированных растворов ОЯТ;
- 5) применение низкокипящих растворителей (диоксида углерода или озоносберегающих фреонов) в качестве разбавителей для ТБФ и других соединений, используемых при проведении экстракции или дезактивации;
- 6) поиск путей и обоснование возможности практического использования новых переделов при создании ОДЦ на ФГУП «ГХК».

При выполнении НИР получены следующие результаты:

- 1) разработаны дистанционно управляемые конструкции лабораторных установок для получения высококонцентрированных растворов ОЯТ как на имитаторах топлива, так и на реальном ОЯТ;
- 2) определены оптимальные мольные соотношения реакционной смеси;
- 3) проведено осветление высококонцентрированных растворов с помощью тупикового фильтра (с размером пор от 5 до 1,5 мкм) и методом центрифугирования;
- 4) разработаны экспериментальные установки по проведению флюидной экстракции и дезактивации материалов в среде легкокипящих растворителей и активированного пара.

## РАЗРАБОТКА МАЛООТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЕЗАКТИВАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРОИНЖЕКЦИОННОГО МЕТОДА И ДЕЗАКТИВАЦИИ В СРЕДЕ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ

И.Г. Ефремов, В.В. Бондин, С.И. Бычков  
ФГУП «ГХК», г. Железногорск

Цель работы: 1) изучение процессов дезактивации комбинированным методом различных материалов (металлов, неметаллов, сыпучих материалов), загрязненных радионуклидами; 2) разработка технологии обезвреживания и захоронения органических отработавших растворов, содержащих радионуклиды, образующиеся в результате дезактивации различных материалов комбинированным методом; 3) разработка исходных данных для создания опытно-промышленной установки и определение дезактивирующих растворов для стадии дезактивации активированным паром и для дезактивации в среде диоксида углерода.

Исследование процессов малоотходной дезактивации комбинированным методом материалов, загрязненных радионуклидами, проводили на лабораторной установке дезактивации. Результаты проведенных исследований показали, что:

1) комбинированный метод обработки поверхности в парогазовой фазе и в среде жидкого диоксида углерода исследуемыми дезактивирующими составами является эффективным методом дезактивации, позволяющим эффективно использовать реагенты и снижающим объемы радиоактивных отходов; 2) максимальные коэффициенты дезактивации поверхностей различных материалов составляли для актинидов – 29000; 3) для повышения эффективности дезактивации для высокопористых поверхностей необходимо подобрать более сильные комплексообразователи на стадии  $\text{CO}_2$ -дезактивации и для десорбции – на стадии паровой дезактивации или увеличить время и количество циклов обработки; 4) общее количество жидких отходов, образующихся при дезактивации комбинированным методом составило 0,5-0,8 мл на 1  $\text{дм}^2$  площади поверхности дезактивируемого материала отнести комбинированный метод дезактивации к маловодным технологиям. Разработка технологии обезвреживания и захоронения продуктов дезактивации (водных и органических отработавших растворов, содержащих радионуклиды) включала несколько направлений исследований: 1) сжигание органической составляющей в окислительной атмосфере с использованием СВЧ – нагрева; 2) отверждение ЖРО, т.е. перевод их в химически- и радиационно-устойчивую форму проводили путем иммобилизации отходов в полимерные матрицы типа Nochar; 3) обезвреживание радиоактивных компонентов жидких отходов, с помощью неорганических микрокапсулированных сорбентов, которые подлежат последующей термообработке для перевода в минералоподобные структуры.

## ПРОИЗВОДСТВО БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

А.А. Руденко\*, В.И. Верещагин\*\*, А.С. Ситников\*\*\*, О.Л. Васильева\*\*\*,  
В.В. Пронин\*\*\*, А.А. Кропачев\*\*\*\*

\*Депутат Думы г. Томска, \*\*Томский политехнический университет  
\*\*\*Томский государственный педагогический университет  
\*\*\*\*ООО «Лагуна-2000», г. Томск

В ряду минераловолокнистых теплоизоляционных материалов материалы на основе горных пород габбро-базальтового типа заслуживают особого внимания. Их преимущества обусловлены свойствами и химическим составом природного базальта, составляющего ~70% земной коры, а потому как сырьевой источник для производства теплоизоляции он практически неиссякаем. Материал долговечен (может служить порядка ста, а то и двухсот лет), Экологически чист, абсолютно пожаробезопасен (не горит ни при каких температурах и не выделяет едкого дыма), термостоек до 900°C, устойчив в агрессивных, щелочных и кислых средах. Материалу присущи высокие тепло- и звукоизоляционные свойства. Применение: промышленное и гражданское строительство, объекты атомной промышленности (теплоизоляция коммуникаций и оборудования, обеспечение пожаробезопасности) и др.

Производство базальтового волокна впервые в Томске было организовано в 2003 году на предприятии «Томскизоляция». Прошивные маты из супертонкого базальтового волокна получили общепризнанную оценку, завоевав ряд высоких наград, в том числе Большую золотую медаль выставки-ярмарки «Сибирь-2005». Эстафету по выпуску базальтового утеплителя в Томской области фактически подхватило предприятие «Лагуна», технология производства на котором с использованием метода центрифугирования расплава базальта характеризуется высокой производительностью и качеством продукции. Стоимость прошивного мата с плотностью около 50 кг/м<sup>3</sup> из тонкого базальтового волокна составляет 1200÷1300 руб. за 1 м<sup>3</sup>, что при теплопроводности материала  $\lambda = 0,042$  Вт/м·°К позволяет успешно конкурировать на рынке с другими видами утеплителей. Производительность линии, запущенной в 2008 году, составляет до 100 м<sup>3</sup> в сутки. Предприятие имеет возможность наращивания производства и его тиражирования. Линия удачно объединяет достижения зарубежных и отечественных производств.

Дальнейшее развитие производства базальтового волокна связано с формируемым «Корпорацией «Росбазальт» Проектом Федеральной целевой программы (ФЦП) «Базальт – технологии настоящего». Объем инвестиций на реализацию программы в 2010 – 2016 г.г. составляет 595 млрд. рублей. Администрация Томской области подтвердила согласие участвовать в формировании ФЦП по Проекту «Томский базальт».



## ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОТРАБОТАННОЙ ЭКСТРАКЦИОННОЙ СМЕСИ, НА ОСНОВЕ ТЯЖЁЛОГО РАЗБАВИТЕЛЯ (ТБФ-ГХБД) МЕТОДОМ УДАЛЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫЙ ПЛАСТ-КОЛЛЕКТОР

С.И. Бычков, Д.М. Крючек, И.Е. Поляков, С.И. Смирнов

ФГУП ГХК, г. Железногорск

В радиохимическом производстве ФГУП «ГХК» используется экстракционная смесь ТБФ в ГХБД. В процессе эксплуатации экстрагент теряет свои селективные и гидродинамические свойства. Отработанную экстракционную смесь выводят из технологии и хранят в ёмкостях радиохимического завода. При контролируемом хранении сохраняются риски коррозионных повреждений конструкционных материалов.

Специалистами ФГУП «ГХК» и ИФХЭ РАН разработана технология удаления отработанной экстракционной смеси на основе тяжёлого разбавителя (ТБФ-ГХБД) в подземный пласт-коллектор полигона «Северный» в виде стабильных водных эмульсий. Предложенная технологическая схема включает следующие этапы: 1 Отмывка глубокопоражённой экстракционной смеси от урана и азотной кислоты. 2 Приготовление стабильных водных эмульсий экстракционной смеси. 3 Подготовка пласта-коллектора и последующая закачка эмульсии экстракционной смеси в пласт-коллектор.

После отмывки экстракционной смеси остаточное содержание урана в ней не превышает 1,0 г/л, что позволяет получать эмульсии с содержанием урана, соответствующим действующим нормам для растворов, направляемых на подземное захоронение.

Для получения стабильных эмульсий используется многокомпонентная система реагентов. Основным компонентом системы является 90 г/л раствор олеата натрия (NaOL) в щёлочно-содовом растворе (15 г/л  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + 15 г/л  $\text{NaHCO}_3$  + 4 г/л NaOH). Кроме этого в качестве со-ПАВ в эмульсию добавляют до 3 % об. изобутилового спирта. Доля экстракционной смеси в эмульсии составляет от 8 до 14 % об. Экспериментально показано, что эмульсия сохраняет свою стабильность в температурном диапазоне от 0 до 70°C в течение более 60 суток.

Подготовка пласта-коллектора заключается в последовательном нагнетании в пласт-коллектор раствора нитрата натрия, щёлочно-содового раствора с содержанием 1 г/л ПАВ. Затем закачивают эмульсию экстрагента и оттесняющие растворы (щёлочко-содовый раствор и раствор нитрата натрия).

Реализация технологии удаления отработанной экстракционной смеси на основе тяжёлого разбавителя (ТБФ-ГХБД) в подземный пласт-коллектор позволит решить проблему обращения с выведенным из эксплуатации глубокопораженным экстрагентом.

## ПРОДУКЦИЯ «ЭКАН» - ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ФТОРАНГИДРИТА

Ю.М. Федорчук, Т.С. Цыганкова, А.А. Волков

Томский политехнический университет  
E-mail: ufed@mail.ru

В Томском политехническом университете разработаны способы обезвреживания и переработки фторангидрита, твердого отхода фтороводородного производства сублиматного завода Сибирского химического комбината, с целью получения строительной продукции ЭКАН (экологически чистый техногенный ангидрит), а на его базе – ангидритовое вяжущее марочности 40 (по прочности – аналог портландцементу марки 400) и целый ряд ангидритовой строительной продукции: плиты «ПАНУ», растворные стяжки, стеновой материал в каркасно-монолитных модулях помещений, утеплитель и др.

Согласно ГОСТ 7618-70 плавиковый шпат выпускают для атомной промышленности следующих марок: ФФ-92, ФФ-95А, ФФ-95Б, ФФ-97А, ФФ-97Б (ФФ - флюорит флотационный, число указывает содержание фторида кальция (%), буквами А и Б отмечено, соответственно, допускаемое содержание примеси диоксида кремния).

ФФ-95А	ФФ-95Б
CaF <sub>2</sub> – не менее 95,0%	CaF <sub>2</sub> – не менее 95,0%
SiO <sub>2</sub> – не более 1,5%	SiO <sub>2</sub> – не более 2,5%
CaSO <sub>3</sub> – не более 2,0%	CaSO <sub>3</sub> – не более 3,5%
S – не более 0,2%	S – не более 0,2%
P – не более 0,1%	P – не регламентируется
H <sub>2</sub> O – не более 1,0%	H <sub>2</sub> O – не более 1,0%

В олеуме, поставляемом сернокислотными заводами, примеси также практически отсутствуют, поэтому сульфат кальция, фторангидрит является экологически чистым материалом после проведения процесса нейтрализации остаточных количеств серной кислоты и фтороводорода.

Радиологические исследования различных исследователей подтверждают чистоту фторангидрита СХК (12,59<sup>±</sup>2,52 Бк/кг) по сравнению с гипсовым камнем из Красноярского края (180 Бк/кг), при допустимых значениях для строительных материалов 370 Бк/кг.

Начиная с 2008 года в ООО «ТПУЭкоСтрой», г. Томск введено в эксплуатацию производство унификации фторангидрита, продукцию которого – ЭКАН, использует Томский завод сухих строительных смесей «Богатырь» при получении своей строительной продукции.

Таким образом, использование фторангидрита строительной промышленностью, а также рециклизация фториона переводят химическую технологию фтороводорода в разряд малоотходных.

## УДАЛЕНИЕ ФТОРА ИЗ БЕРТРАНДИТ-ФЕНАКИТ-ФЛЮОРИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ЕРМАКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.Н. Борсук<sup>1</sup>, А.Ю. Водянкин<sup>2</sup>, И.И. Жерин<sup>2</sup>,  
А.С. Толстикова<sup>2</sup>, С.Ю. Толстиков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Ульбинский металлургический завод»

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

Технология бериллия в АО «Ульбинский металлургический завод» (Республика Казахстан) была разработана для переработки концентратов минерала берилла сульфатным способом, но в настоящее время перерабатывает комплексное сырье, включающее наряду с указанными берилловыми более богатые по бериллию берtrandит-фенакит-флюоритовые концентраты Ермаковского месторождения (Россия), содержащие значительные количества флюорита, по прежнему сульфатному способу. Присутствие фтора приводит к значительным потерям бериллия с маточными растворами на финальных стадиях осаждения гидроксида бериллия вследствие образование прочных хорошо растворимых бериллий-фторидных комплексных ионов, которые по устойчивости к гидролизу можно расположить в ряд:  $\text{BeF}_4^{2-} > \text{BeF}_3^- > \text{BeF}_2 > \text{BeF}^+$ . Одним из возможных способов решения проблемы удаления фтора является предварительное избирательное растворение флюорита из коллективного берtrandит-фенакит-флюоритового флотоконцентрата. Наиболее приемлемым является избирательное комплексообразовательное растворение флюорита с образованием прочных хорошо растворимых комплексных соединений. Для этого были проведены исследования процесса обесфторивания концентрата азотнокислыми растворами нитрата алюминия, являющегося одним из сильнейших комплексообразователей. Установлено, что процесс протекает с образованием монофторидных комплексных ионов  $[\text{AlF}]^{2+}$ :



Наряду с решением главной проблемы (количественное удаление фтора из концентрата) при комплексообразовательном растворении флюорита вследствие удаления кислоторастворимых примесей происходит значительное (почти в 2 раза) уменьшение массы концентрата. Это приводит к его химическому обогащению по бериллию.

Результаты исследований показывают, что обработка бериллиевого концентрата Ермаковского месторождения азотнокислым раствором  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  обеспечивает удаление фтора до его содержания 0,5 % масс.; обогащение концентрата по бериллию (~ в 1,5 раза), значительное снижение содержания примесей Mn, Cr, Zn, Pb. Оптимальными условиями проведения процесса являются: температура 80 °С; соотношения  $\text{Al}^{3+}:\text{F}^- = 1,3$  и Ж:Т = 5÷7.

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ДРУГИХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.И. Мазин, Е.В.Мазин

ОАО «Сибирский химический комбинат», г. Северск Томской обл.

E-mail: mazinvi@sibmail.com

Начатые в 60–70-х годах прошлого века Сибирским химическим комбинатом и ТПУ–ТПИ совместные исследования по использованию возможностей низкотемпературной плазмы в технологии ядерных материалов завершились внедрением на СХК плазменных установок получения урановых и уран-плутониевых оксидных топливных композиций [1]. В большой степени успешному освоению технологии способствовало создание в процессе исследований оригинальных и высоконадежных в эксплуатации плазменно-технологических аппаратов и высокоэффективных сепараторов твердой фазы – высокотемпературных фильтров [2, 3]. Последующее развитие исследований продолжилось в различных направлениях, где наиболее важным оказался выбор подходящих предшественников для синтеза [4].

Однако наиболее впечатляющие результаты просматриваются в распространении данной плазменной технологии на переработку гексафторида урана, как низкообогащенного, так и отвального [5].

Показана возможность адаптации разработанной технологии на получение крупнотоннажных продуктов для других отраслей промышленности.

### Список литературы

1. Будущее плутония // Атомная техника за рубежом, 1998, № 3, с. 26–29.
2. Патент РФ № 2233563 «Высокочастотный индукционный плазмотрон». Приоритет от 25.12.2001//Авт.: В.И.Мазин.
3. А.С. № 1538880 «Плазмохимический реактор разложения». Приоритет от 15.09.1989//Авт.: В.И.Мазин, В.Л.Теплоухов.
4. Заявка на патент РФ № 2004105603 «Способ получения тонкодисперсных порошков диоксида циркония». Приоритет от 24.02.2004//Авт.: В.А.Власов, В.И.Мазин, Е.В.Мазин, С.А.Сосновский.
5. Мазин Е.В., Мазин В.И. Восстановление гексафторида урана до тетрафторида метанолом//«Молодежь ЯТЦ: наука, производство, экологическая безопасность». – Изд. СГТА, 2008. С. 34.

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДА ЛИТИЯ ИЗ КАРБОНАТА ЛИТИЯ

В.А. Емелькин, М.Г. Кталхерман, Б.А. Поздняков

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск

Порошок карбоната лития является исходным сырьем для получения всего спектра литиев продуктов, находящих применение в различных областях техники. К числу наиболее важных из них относят гидроксид ( $\text{LiOH}$ ) и оксид лития ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) Рассматриваемые в различных работах процессы термического разложения карбоната лития ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) осуществляется в среде интернах газов либо в вакууме при умеренно высоких температурах, и состоят из нескольких стадий.

В данной работе рассматривается вариант реализации высокотемпературного метода получения оксида лития – при диссоциации частиц  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  в потоке газа-носителя воздуха при атмосферном давлении.

Экспериментальная установка включила в себя плазмотрон с узлом ввода порошка, реактор, приемник, системы подачи порошка и воздуха, поступающего в плазмотрон и транспортировку порошка. Для нагрева теплоносителя используется плазмотрон V-образной конструкции. Отличительной способностью двухструйного плазмотрона является органическая сочетаемость его с реактором, где каждая часть газоразрядной токопроводящей области участвует в начальном процессе обработки дисперсного и газообразного сырья. В ходе эксперимента измерили мощность плазмотрона, расходы воздуха на плазмотрон и на транспортировку исходного порошка. С использованием программы TERRA были проведены термодинамические расчеты, по результатам которых были определены теплосодержание газодисперсной среды на выходе из реактора с учетом теплопотерь и среднемассовое значение равновесной температуры. Расчетная температура соответствовала полученной в экспериментах. Расчеты времени пребывания для условий наших экспериментов проводили с использованием уравнения движения сферических частиц в потоке воздуха. Время прогрева частиц дл температуры плавления определялось из решения задачи нестационарной теплопроводности для шара, помещенного в поток газа постоянной температуры. При расходе порошка 0,9-1 г/с, суммарном расходе воздуха 6,2 г/с и мощности плазмотрона 90-100 кВт степень конверсии карбоната лития в оксид лития превышала 70% за один выход.

Таким образом, впервые реализован процесс высокотемпературной деструкции частиц карбоната лития в потоке газа-носителя и экспериментально установлена возможность реализации диссоциации  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  (с высоким выходом  $\text{Li}_2\text{O}$ ) при атмосферном давлении в реакторе.

## ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА РАДИОНУКЛИДОВ

А.Н. Скугорев, П.В. Зернаев, С.Н. Платонова, Г.Т. Кириллов

ОАО «Сибирский химический комбинат», г. Северск

В системах газоочистки ядерно-опасных участков по переработке обогащенного урана (обогащение по  $U_{235} > 1\%$ ) используются, в большинстве случаев, фильтры типа ФТП (Д28, Д33...). Условия эксплуатации и конструкция фильтров требует введения ограничений накопления в них урана. Мерами по обеспечению этих ограничений является инструментальный контроль и замена фильтров по результатам контроля или просто замена фильтров с периодичностью, установленной исходя из статистических данных, полученных, например, по результатам определения накопления урана при переработке фильтров. Для используемых методов контроля темпов накопления урана в фильтрах, таких как периодическое взвешивание контрольного фильтра или радиометрический интегральный метод измерения счета (скорости счета) на внешней поверхности корпуса фильтра, характерна значительная неопределенность получаемых результатов. Она обусловлена для весового метода колебаниями массы фильтра за счет изменения влажности прокачиваемого воздуха и накопления в фильтрующей основе банальной пыли (до  $80 \div 90\%$  вес.), а для интегрального радиометрического метода - накоплением сопутствующих гамма-излучающих неделящихся нуклидов. Принимая решение о замене фильтров по результатам такого контроля, получаем значительное сокращение срока их эксплуатации, который, при получении достоверных данных по содержанию урана, можно было бы продлить в  $10 \div 20$  раз. Для этого на ОАО «СХК» была разработана МВИ №ИА-67-37-2004 «Фильтры вытяжной вентиляции. Метод определения массы урана-235 для контроля накопления при помощи спектрометра энергий гамма-излучения», позволяющая контролировать накопление непосредственно нуклида  $U_{235}$  переносным гамма-спектрометром типа «Колибри». Данная методика прошла метрологическую аттестацию (№АИ-18-04) и по результатам рассмотрения на отраслевой «Комиссии по методам и средствам контроля параметров ядерной безопасности» (решение от 29.06.2005г.) рекомендована к применению на СХК и предприятиях отрасли для контроля фильтров вент-установок урановых производств. При использовании метода неразрушающего анализа МВИ №ИА-67-37-2004 с 2006 года для контроля накопления ядерно-опасных веществ (в данном случае  $U_{235}$  обогащением  $> 1\%$ ) на фильтрах вытяжных вент-установок затраты на приобретение фильтров типа ФТП в частности на ЗРИ СХК в среднем за год снизились на  $\sim 60 \div 80\%$ .

## РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЫ ВОЗБУЖДАЕМОЙ НАНОСЕКУНДНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

В.И. Сачков, С.А. Сосновский

СФТИ, ТГУ, г. Томск  
E-mail: ssa777@mail.ru

В последние годы значительно возрос интерес к химическим и физическим свойствам стабильных изотопов. Для их получения используются различные процессы. Основные методы разделения изотопов довольно дороги и требуют длительное время для получения большой степени обогащения. Поэтому актуальна разработка новых методов получения изотопов. Условия, реализуемые при импульсном возбуждении газовых смесей электронным пучком, благоприятны для организации цепных химических процессов. В этих условиях на получение требуемых продуктов расходуется энергия не только источника возбуждения, но и химическая энергия исходной реагентной смеси. Эффективное возбуждение колебательных уровней молекул происходит в плазме наносекундного электронного пучка, поэтому при конверсии фторидных соединений возможно проявление изотопического эффекта.

Показано, что при конверсии гексафторида серы в плазме наносекундного электронного пучка реализуется изотопический эффект. Химико-термодинамическое моделирование конверсии гексафторида серы удовлетворительно описывает состав конечных продуктов разложения  $SF_6$  в плазме наносекундного электронного пучка.

### Список литературы

1. Горшунов Н.М., Гуденко С.В. О возможности разделения изотопов за счет неравновесного колебательного обмена в послеразрядной зоне // Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул: Сб. докл. 8\_ой Всеросс. научн. конф. – М.:ЦНИИАтоминформ, 2003. – С. 133–136.
2. Власов В.А., Пушкарёв А.И., Ремнёв Г.Е., Сосновский С.А., Ежов В.В., Гузеева Т.И. Экспериментальное исследование и математическое моделирование восстановления фторидных соединений импульсным электронным пучком // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 5. – С. 89–93.
3. Трусев Б.Г. Программный комплекс TERRA для расчёта плазмохимических процессов // Матер. 3 Междунар. симп. по теоретической и прикладной плазмохимии. – Плес, 2002. – С. 217–218.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ ТРАСС ОТБОРНИКОВ ГЦ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ГЕПТАФТОРИДОМ ИОДА

В.Г. Афанасьев, В.В. Водолазских, В.И. Мазин, Е.В. Мартынов,  
М.И. Стерхов, Ю.Б. Торгунаков

ОАО «Сибирский химический комбинат»  
E-mail: SHK@seversk.tomsknet.ru

На современных урановых заводах обогащение природного урана делящимся изотопом уран-235 осуществляют в газоцентрифужных установках, работающих в среде гексафторида урана ( $UF_6$ ).

Одна из основных технических проблем газовой центрифуги (ГЦ) – это образование в результате гидролиза и химического восстановления  $UF_6$  твердых отложений, вызывающих снижение проводимости трасс.

Основным способом снижения негативного воздействия нелетучих отложений на надежность работы ГЦ является химическая обработка рабочих поверхностей центрифуг фторирующими соединениями, позволяющая газифицировать твердые соединения урана и перевести их в летучий  $UF_6$ . Причем желательно химическую обработку проводить без остановки центрифуги при ее вращении на рабочей (номинальной) частоте.

На Заводе разделения изотопов ОАО «СХК» разработан способ газификации нелетучих соединений в трассах газовой центрифуги, вращающейся на номинальных оборотах, включающий подачу в трассы газовой центрифуги гептафторида иода ( $JF_7$ ). Способ апробирован в опытно-промышленных условиях. Показана устойчивость работы ГЦ при газонаполнении  $JF_7$  по трассе отвала. Продолжительность процесса газификации урансодержащих отложений в трассах питания и отборников ГЦ составила 29,5 часа. Средняя мощность трения по группе ГЦ на гексафториде урана после обработки уменьшилась с 14,25 Вт до 14,10 Вт при изменении стандартного отклонения распределения с 1,16 Вт до 1,01 Вт. Произошло восстановление проходимости трасс «ОЛ» и «ОР» у 100 % ГЦ, изначально дефектных по критерию «забитие трасс «ОЛ» и/или «ОР»». Отмечено восстановление проходимости трассы питания ГЦ.

Предложенная технология газификации отложений в трассах ГЦ защищена патентом РФ на изобретение № 2315001 от 17.08.2005 г.



ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ  
ОТХОДАМИ, ОБРАЗОВАВШИМИСЯ ПРИ ДЕМОНТАЖЕ  
ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОДИФФУЗИОННОГО ЗАВОДА.  
ДЕЗАКТИВАЦИЯ И СОРБЦИОННАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЖИДКИХ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

В.В. Водолазских, В.Г. Балахонов, С.Б. Лысак, В.А. Матюха,  
Е.В. Мартынов, В.И. Мазин, Ю.Б. Торгунаков

ОАО «Сибирский химический комбинат»

После остановки газодиффузионного производства СХК в корпусах и на площадках ЗРИ находится значительное количество подготовленного к демонтажу и дезактивации технологического оборудования из углеродистой и нержавеющей сталей, а также цветных металлов.

СХК совместно с ИФХ РАН был выполнен комплекс исследований, необходимых для создания технологической схемы дезактивации демонтированного оборудования до норм, установленных для возврата металла на неограниченное использование.

При разработке технологической схемы учитывалось, что ее реализация возможна при выполнении следующих требований:

- ❖ высокая эффективность процесса при максимальном снижении безвозвратных потерь дезактивируемого металла;
- ❖ надежная защита оборудования от коррозии;
- ❖ многократное использование дезактивирующих растворов при контроле в них содержания урана с последующей переработкой РАО;
- ❖ экономическая обоснованность, доступность реализации.

На основании результатов лабораторных исследований и данных, полученных при проведении опытно-промышленных испытаний, было рекомендовано применение дезактивирующих растворов на основе 2,0 – 3,0 % (масс.) раствора серной кислоты с добавкой пассиваторов углеродистой стали. Лабораторные исследования показали, что в результате отмывки разбавленной серной кислотой образцов оборудования из углеродистой стали, образуются растворы, содержащие от 0,7 до 4,5 г/л урана при концентрации железа от 2 до 17 г/л, которые могут быть подвергнуты сорбционной переработке с целью извлечения урана. При этом глубокое селективное извлечение урана из сернокислых растворов сорбцией на низкоосновном анионите типа АН-31 обеспечивает концентрирование урана с возвратом его в производственный цикл и рециклирование сорбата для многократного использования при отмывке до повышения содержания железа в нем до 25 - 30 г/л.

Технология внедрена на ЗРИ СХК и защищена патентом РФ на изобретение №2159741 от 08.06.1999 г.

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ РЕАКТОР РАЗРЯДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

С.Ю. Соковнин, М.Е. Балезин  
Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург  
sokovnin@ier.uran.ru

В последние годы во всем мире значительно возрос интерес к неравновесной низкотемпературной плазме атмосферного давления. Этот интерес обусловлен необходимостью использования плазменных технологий в современной химической промышленности, при этом использование плазмы атмосферного давления существенно повышает производительность этих технологий и заметно упрощает и удешевляет их техническую реализацию и практическую эксплуатацию [1].

Плазмохимический реактор состоит из проточной камеры с коаксиальными электродами, высоковольтного наносекундного генератора импульсов (ГВНИ) и низковольтного микросекундного генератора (НВМК). Отношение диаметров внешнего и внутреннего электродов определяет напряженность электрического поля в межэлектродном промежутке и может быть изменено при использовании газовых прекурсоров с различной электрической прочностью.

ГВНИ (200кВ, 50нс, 300Гц) выполнен по схеме с полупроводниковым прерывателем тока с полностью твердотельной схемой коммутации [2]. НВМК состоит из полупроводникового выпрямителя с фильтром, от которого через зарядный дроссель заряжается накопительный конденсатор  $C_n$ , подключенный через защитный дроссель к внутреннему электроду проточной камеры. Изменение емкости  $C_n$  позволяет оптимизировать как величину энерговклада (от 2,8 до 14 Дж) в газовый разряд, так и длительность его горения (от 100 до 300мкс).

Использование двух генераторов – ГВНИ для пробоя и НВМК для ввода энергии в разряд позволяет разделить стадии пробоя и ввода энергии в газовый разряд, что дает возможность уменьшить габариты и стоимость ГВНИ и вводить основную часть энергии в разряд посредством НВМК при низком уровне напряжений.

Плазмохимический реактор был проверен в работе при больших давлениях (до 2,5бар) для конверсии смеси  $НСl + O_2$  в молекулярный хлор и для генерации озона.

### Список литературы

1. Пушкарев А.И., Новоселов Ю.Н., Ремнев Г.Е. // Цепные процессы в низкотемпературной плазме / Новосибирск: Наука, 2006 г., 226с.
2. Рукин С.Н. // ПТЭ. 1999. № 4. С.5-36.

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЧИСТКИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА ОТ МИКРОКОЛИЧЕСТВ ЛЕГКОЛЕТУЧИХ ПРИМЕСЕЙ

В.И. Мазин<sup>1</sup>, П.В. Зернаев<sup>1</sup>, Р.Л. Мазур<sup>1</sup>, М.В. Чуканов<sup>1</sup>,  
И.М. Васенин<sup>2</sup>, Э.Р. Шрагер<sup>2</sup>, А.Ю. Крайнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Сибирский химический комбинат», г. Северск

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Томский государственный университет», г. Томск  
chk@seversk.tomsknet.ru, rector@tsu.ru

В технологических потоках гексафторида урана (ГФУ) разделительных заводов постоянно присутствуют легкие примеси, причем содержание фтористого водорода значительно превышает суммарное количество остальных примесей [1]. Значительная часть летучих примесей поступает на завод с сырьевым ГФУ.

Для изучения возможности очистки ГФУ в ходе перелива технологических емкостей были выполнены термо- и гидродинамические расчеты, учитывающие конвективные потоки в жидкой фазе, испарения компонентов смеси с поверхности и взаимовлияние жидкой и газовой фаз. По результатам расчетов выявлено наличие неоднородного распределения легких примесей по высоте столба жидкого ГФУ, которое нашло подтверждение на практике.

Получены уравнения корреляции, связывающие температуру и давление в баллоне с содержанием легких примесей как в жидкой, так и в газовой фазах ГФУ. По расчетным и экспериментальным данным установлено значительное превышение содержания легких примесей в газовой фазе относительно жидкой.

В результате выполненных работ показано, что содержание легких примесей в гексафториде урана с использованием технологии перелива жидкой фазы ГФУ может быть уменьшено на 40 %. На технологические решения оформлена заявка на патент РФ.

### Список литературы

1. Васенин И.М., Крайнов А.Ю., Мазур Р.Л., Зернаев П.В., Чуканов М.В. Определение степени ассоциации в системе  $\text{HF}-\text{UF}_6$ . Известия высших учебных заведений. Физика. – №7/2. – Томск. Изд-во Том. Ун-та. 2009. С. 44–48.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО ИСТОЧНИКА НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ С ЦЕЛЬЮ ВНЕДРЕНИЯ ЕГО В МЕДИЦИНУ

О.И. Денеко, А.Н. Алейник, О.С. Жданова, Е.В. Семичев

Томский политехнический университет  
Сибирский Государственный Медицинский Университет  
E-mail: o.deneko@yandex.ru

До настоящего времени использование неравновесной плазмы в медицине было ограниченным. Это связано, прежде всего, с тем, что очень долго не удавалось получить устойчивую плазму при атмосферном давлении. Однако, в последнее время ситуация меняется и особое внимание уделяется методам ее воздействия на живые ткани. На кафедре ПФ ФТФ НИ ТПУ разработан макет источника неравновесной плазмы (температура < 45°C) для исследования ее взаимодействия с живыми организмами. В результате проведенных исследований *in vitro* показано эффективное антибактериальное воздействие неравновесной плазмы на *St.aureus*, *P.aeruginosa*, *E.coli*, *P.vulgaris*, *K.pneumoniae* – возбудителей гнойно-воспалительных процессов. После обработки крови неравновесной плазмой коагуляция происходит в течении 5-10 секунд.

### Список литературы

1. Roth J., Nourgostar S., Bonds A. The One Atmospheric Uniform Glow Discharge Plasma. – A Platform Technology for the 21<sup>st</sup> Century // IEEE Transactions on Plasma Science. - 2007. - Vol.35. №2. - P.233-250.
2. Larousi M., Alexeff I., Kang W. Biological Decontamination by Nonthermal Plasmas.// IEEE Transactions on Plasma Science. - 2000. - Vol.28. №1. P.184-188.
3. Виноградова О.И. Разработка и исследование источника холодной плазмы для биологических и медицинских целей. «Россия молодая: передовые технологии в промышленность!» 2008. Россия, Омск, Ноябрь 12-13, 2008.
4. Виноградова О.И., Телицкий С.Ю., Великая В.В. Исследование источника холодной плазмы для применения в медицине. XV Международная конференция «Современные техника и технологии» СТТ 2009, Россия, Томск, Май 4-8, 2009.
5. Vinogradova O.I., Chelnov V.G. Blood Coagulation by Atmospheric Pressure Plasma. «XIV Modern Technique and Technologies». МТТ' 2008. Russia, Tomsk, March 24-28, 2008, p.115-117».
6. Виноградова О.И., Телицкий С.Ю., Щукина Е.В, Алейник А.Н. Применение неравновесной плазмы в медицине и биологии// Научная сессия МИФИ-2009.

## РАЗРАБОТКА СМАЗКОУЛОВИТЕЛЯ ЦИКЛОННОГО ТИПА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПАРОВ ФТОРУГЛЕРОДНОЙ СМАЗКИ В ОТБОРНЫХ ПОТОКАХ ОЧИСТИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ ИЗ ДИФФУЗИОННЫХ МАШИН

В.И. Мазин<sup>1</sup>, П.В. Зернаев<sup>1</sup>, А.В. Сигаило<sup>1</sup>, О.В. Лядский<sup>1</sup>,  
И.М. Васенин<sup>2</sup>, Э.Р. Шрагер<sup>2</sup>, А.Ю. Крайнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Сибирский химический комбинат», г. Северск

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Томский государственный университет», г. Томск

chk@seversk.tomsknet.ru, rector@tsu.ru

Эксплуатация диффузионных блоков разделительных заводов в качестве очистительных каскадов (ОК) потоков гексафторида урана (ГФУ) связана с накоплением в отборных ступенях каскадов паров фторуглеродной смазки (ФУС), используемой в подшипниковых узлах компрессоров, что приводит к снижению проницаемости диффузионных фильтров. При снижении проницаемости ниже допустимого уровня требуется профилактический ремонт всего блока. Продление межремонтного периода эксплуатации диффузионных блоков обеспечили очисткой межступенного потока ГФУ от паров ФУС в отборной части блоков на циклонных аппаратах [1].

Конструкция смазкоуловителя определена по результатам расчетов течения гексафторида урана в каналах на основе одномерной модели сжимаемого газа, модели на основе параболических уравнений Навье-Стокса с учетом турбулентной вязкости, а также предложенной инженерной методики [2, 3]. В расчетах учитывались ограничения, накладываемые физико-химическими свойствами ГФУ, технологическими параметрами при эксплуатации диффузионных блоков и требованиями ядерной безопасности для работы с ГФУ обогащением по U-235 до 5 мас. %.

### Список литературы

1. Положительное решение по заявке на патент РФ № 2009119765. Вихревой теплообменный сепаратор для очистки газа от паров примесей. Приоритет от 25.05.2009 // Васенин И.М., Водолазских В.В., Зернаев П.В., Крайнов А.Ю., Лядский О.В., Мазин В.И., Стерхов М.И., Шрагер Э.Р.
2. Васенин И.М., Зернаев П.В., Крайнов А.Ю. Расчет турбулентного течения газа в коаксиальном циклоне. Известия высших учебных заведений. Физика. – № 8/2. – Томск. Изд-во Том. Ун-та. 2008. С. 87–88.
3. Васенин И.М., Зернаев П.В., Крайнов А.Ю. //Известия высших учебных заведений. Физика. – №7/2. 2009. С. 41–44.

## РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.А. Орлов, С.Н. Тимченко, В.Г. Бутов

ГОУ ВПО «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»

Разработаны математические модели нестационарных гидравлических и разделительных процессов [1, 2], протекающих в каскадах газовых центрифуг при наложении различных возмущающих воздействий, различных сочетаниях этих возмущений с разнесением их по времени и с возможностью задания времени действия возмущения, которые позволяют имитировать работу разделительного оборудования в режиме реального времени. Создана математическая модель с использованием нейронных сетей [3] для расчета основных параметров газовых центрифуг различных типов. Разработана функциональная модель компьютерного тренажера [4], основанная на взаимодействии базы данных оборудования с различными прикладными компонентами и другими модулями, а также принципы построения сетевой версии тренажера.

Перечисленные математические модели, функциональная модель и принципы построения компьютерного тренажера, способы моделирования возмущающих воздействий, их программное обеспечение могут быть использованы при практической реализации тренажера, а также на разделительных предприятиях в качестве прогнозирующих систем.

Теоретически изучено влияние протекания нестационарных процессов на эффективность работы разделительных предприятия в различных ситуациях, выработаны рекомендации по ее повышению, что внесло вклад в развитие теории тепло- и массообменных процессов.

### Список литературы

1. Власов В.А., Бутов В.Г., Голдобин Д.Н., Орлов А.А., Тимченко С.Н. //Изв. ТПУ. 2007. Т. 310. № 2. С. 103-106.
2. Власов В.А., Орлов А.А., Бутов В.Г., Тимченко С.Н. //Изв. ТПУ. 2009. Т. 315. № 2. С. 94-97.
3. Власов В.А., Бутов В.Г., Орлов А.А., Тимченко С.Н. Определение основных параметров работы газовых центрифуг с помощью нейронных сетей. Тезисы доклада на 7-ой Курчатовской молодежной научной школе, 10-13 ноября 2009 г., Москва, 2009. С. 302.
4. Орлов А.А., Власов В.А., Тимченко С.Н., Наумов С.А. Разработка тренажера завода разделения изотопов "СХК". Труды 15-ой Междун. конф. студентов и молодых ученых "Современные техника и технологии", 4-8 мая 2009 г., ТПУ, Томск, Т. 3, 2009. С. 86-88.

## ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.А. Орлов, С.Н. Тимченко, В.Г. Бутов

ГОУ ВПО «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»

Компьютерный тренажер разделительного производства по обогащению урана строится вокруг основного компонента – базы данных оборудования (БДО), которая связана с прикладными компонентами (ПК): отображение мнемосхем, панели управления, отображение параметров оборудования, отображение сигналов, математические модели, автоматические блокировки и защиты и другими модулями. БДО не имеет информацию о других компонентах системы. Каждый из ПК работает исключительно внутри своей зоны ответственности и не имеет данных о существовании каких-либо других компонентов системы кроме БДО. Таким образом, любое взаимодействие между ПК исключено. Компонента БДО отвечает за хранение состояния и параметров моделируемых объектов в виде XML-документа, их компоновки. Для взаимодействия БДО и ПК реализована компонента менеджер оповещения (МО), которая извещает различные модули системы об изменениях, произошедших с состоянием оборудования. Для реализации задачи сетевого взаимодействия модулей системы БДО используются две компоненты – сетевой сервер (СС) и сетевой клиент (СК). СС обслуживает подключение сетевых клиентов и отвечает за прием запросов от клиентов и отправку результатов обработки запросов. СК предоставляет доступ к сетевому серверу и отвечает за формирование запросов к серверу и обработку результатов. ПК взаимодействуют с БДО и МО опосредованно через СК.

Разрабатываемая сетевая версия тренажера будет состоять из 3х ПЭВМ. На первом компьютере будут отображаться мнемосхемы основного, вспомогательного оборудования, линий межкаскадных коммуникаций, органы управления, строка текущего состояния оборудования, таймер и рассчитываться технологические параметры в соответствии с математической моделью нестационарных гидравлических и разделительных процессов, будет выводиться световая и звуковая сигнализация срабатывания датчиков аварийной защиты. Второй компьютер предназначен для отображения в режиме реального времени изменения расчетных технологических параметров протекающего процесса. На третьем компьютере будет отображаться срабатывание различных видов аварийной защиты.

РАДИАЦИОННО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ  
ОБОГАЩЕНИЯ ИЗОТОПА УРАНА-235 В ГФУ. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ НА  
ОАО «СХК»

В.В. Водолазских, В.Е. Горохов, В.М. Илюхин, В.И. Мазин,  
В.И. Рощупкин, В.И. Щелканов

ОАО «Сибирский химический комбинат», г. Северск Томской обл.  
ООО «ГРОГ», г. Северск Томской обл.  
e-mail: SHK@seversk.tomsknet.ru

Измерение концентрации изотопа  $^{235}\text{U}$  в газовой фазе гексафторида урана (ГФУ) на изотопно-разделительных предприятиях ведется масс-спектрометрическим и радиационным методами.

Радиационные методы, основанные на измерении фотонного спектра рентгеновского и гамма-излучений, присущего анализируемым изотопам урана, применяются для экспресс-контроля. Обогащение в этом случае вычисляется по отношению количества атомов  $^{235}\text{U}$  к общему количеству атомов урана.

Для повышения точности измерений в проточном режиме в 1998 году на СХК был предложен «радиационно-термодинамический метод» контроля концентрации изотопа  $^{235}\text{U}$  в ГФУ /1, 2/, где число атомов всех изотопов урана определяется по термодинамическим характеристикам ГФУ:

$$C_5 = \alpha * \frac{I_{\gamma} * T_2}{P_2},$$

где  $C_5$  – концентрация изотопа  $^{235}\text{U}$ ;  $P_2$  – абсолютное давление;  $T_2$  – абсолютная температура ГФУ;  $\alpha$  – градуировочный коэффициент.

Предложенный способ контроля обогащения ГФУ с 1999 г. реализован на ЗРИ СХК в серии программно-технических комплексов, обеспечивающих погрешность до 1% без дополнительных калибровок.

По требованиям МАГАТЭ разработаны и изготовлены два Монитора Обогащения и расхода. Оба прибора были установлены на отборных (основная и резервная) технологических линиях разделительного завода в г. Шанкси КНР, где, по отзывам специалистов МАГАТЭ, зарекомендовали себя с положительной стороны.

Список литературы

1. Патент RU № 2185667 «Способ и система контроля обогащения гексафторида урана». Опубл. 20.07.2002.
2. Патент RU № 2256963 «Способ контроля массовой доли изотопа урана-235 в газовой фазе гексафторида урана и система измерения для его реализации». Опубл. 20.07.2005.



## СПОСОБ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ЗАГРУЗКИ ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОАО «СХК»

В.В. Водолазских, В.Е. Горохов, В.М. Илюхин, В.И. Мазин,  
В.И. Рошупкин, Р.В. Савицкий, В.И. Щелканов

ОАО «Сибирский химический комбинат», г. Северск Томской обл.

ООО «ГРОГ», г. Северск Томской обл.

e-mail: SHK@seversk.tomsknet.ru

Обогащение природного урана изотопом уран-235 осуществляют в многоступенных установках каскадного типа, сформированных из групп (секций, блоков) параллельно соединенных газовых центрифуг (ГЦ). Общее количество ГЦ в каждой промышленной группе может достигать нескольких сотен и даже тысяч штук. Необходимость иметь столь огромное количество механически высоконапряженных машин создает особые проблемы в обеспечении надежности эксплуатации центрифужного завода, предъявляя жесткие требования к контролю состояния каждой газовой центрифуги, технологической загрузки оборудования и обеспечению его аварийной защиты.

Здесь наиболее перспективно совместное предложение ОАО «СХК» и ООО «ГРОГ» по способу выявления дефектов (возмущений) в газовых центрифугах /1/, реализованный в виде программно-технического комплекса (ПТК).

Особым достоинством способа – применимость для решения технических задач оперативного централизованного контроля промышленных групп параллельно включенных ГЦ /2/.

На основе предложенного способа создано многоканальное устройство централизованного контроля технического состояния больших промышленных групп газовых центрифуг (периферийный контроллер вращения — ПТК «ПКВ-Фаза»), предусматривающее выдачу информационного сигнала в систему аварийной защиты оборудования.

Проверка возможностей ПТК «ПКВ-Фаза» проведена на промышленной группе ГЦ в ходе исследования возможности очистки трасс ГЦ газовой фазой гептафторида иода.

### Список литературы

1. Патент RU № 2236308 «Способ выявления дефектов (возмущений) в газовых центрифугах изотопно-разделительного каскада», МПК 7 В 04 В 13/00. Приоритет от 14.10.2002. Опубл. 20.09.2004.

2. Патентная заявка RU № 2006133412 «Способ централизованного контроля технического состояния группы газовых центрифуг», МПК 7 В 04 В 13/00. Приоритет от 18.09.2006. Опубл. 27.03.2008.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА ПО РАМАНОВСКОМУ РАССЕЯНИЮ РАСТВОРЕННОГО В ВОДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

В.Ф. Мышкин, В.А. Хан, В.А. Борисов, Д.Л. Гамов, М.И. Хромяк, Е.В. Беспала  
Томский политехнический университет  
gos100@tpu.ru

Большинство элементов в природе представлены несколькими изотопами. Лишь 17 из первых 92 элементов имеют 1 стабильный изотоп. Хотя большинство свойств изотопов отличаются незначительно, оптимизированные по изотопному составу материалы имеют лучшие потребительские качества. Например, коэффициент ослабления света оптоволокном, теплопроводность полупроводников. Это делает актуальной задачу разработки (апробирования) новых методов изотопного анализа жидких и твердых веществ.

Лазер является универсальным инструментом, позволяющим решать широкий спектр разнообразных задач. Для лазерного спектрального анализа содержания изотопов требуется монохроматор с высокой разрешающей силой. Спектры рамановского (КР) рассеяния могут быть зарегистрированы с помощью приборов с невысокой дисперсией. Нами разрабатывалась методика анализа содержания изотопных модификаций углекислого газа по рамановским спектрам.

Поток рамановского рассеяния на 6-8 порядков величины меньше зондирующего лазерного излучения. Как правило, для увеличения рассеянного потока увеличивают мощность зондирующего излучения.

Нами апробирован метод увеличения потока КР за счет увеличения концентрации анализируемого газа. В случае  $\text{CO}_2$  такой путь может быть реализован за счет растворения в воде. Известно, что растворимость  $\text{CO}_2$  при 18 С атмосферном давлении составляет 88 мл/см<sup>3</sup>. Это означает, что в воде содержание  $\text{CO}_2$  в воде в 88 раз выше, чем в чистом газе при атмосферном давлении. При избыточном давлении газосодержание будет выше. Растворимость основных газов воздуха в воде в 20 и более раз меньше. Поэтому в воде в основном содержится углекислый газ.

Для отбора пробы из установки для фотохимической сепарации изотопов углерода продукты реакции под избыточным давлением 150-200 мм водн.столба пропускали через ловушку Петри, заполненной дистиллятом. Ловушка объемом 100 см<sup>3</sup> снабжена вентилями. Для регистрации КР дистиллят с газом наливали в прямоугольную кювету. При необходимости, через 30 мин анализируемый раствор меняли на свежий.

КР в воде возбуждали с помощью лазера LF117 (0,53 мкм). Рассеянный поток с помощью объектива концентрировали на входе в световод и передавали на монохроматор MSDD100. Результаты исследований показали, что метод применим при концентрациях изотопа более 1%.

## РАЗРАБОТКА ФОТОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА

В.Ф. Мышкин, М.И. Хромяк, Е.В. Беспала, В.Н. Ленский

Томский политехнический университет

Углерод играет важную роль в материаловедении и технологии, входит в состав чугуна, пластмасс, древесины, угля, углеводородного сырья.

Известно, что природный углерод, в основном, представлен двумя стабильными изотопами. В результате облучения графита нейтронами, например в ядерном реакторе, образуется радиоактивный изотоп  $^{14}\text{C}$ . После выделения радиоактивного углерода графит можно использовать повторно. При этом изотоп  $^{14}\text{C}$  также является важным продуктом, востребованным в технологии, медицине. Это обуславливает актуальность разработки эффективной технологии сепарации изотопов углерода.

Магнитный изотопный эффект, требующий незначительных затрат энергии, был открыт ещё в 70-х годах 20 века. Однако метод до сих пор не находит широкого применения.

Нами исследуется эффективность сепарации изотопов углерода в результате низкотемпературной реакции окисления радикалами кислорода.

Экспериментальная установка содержала источник вакуумного ультрафиолетового излучения (ВУФ), постоянный магнит, воздушный насос, кювету с водой для сбора образующегося углекислого газа.

Для получения радикалов кислорода в воздушной смеси использовали лампу на эксимерах ксенона, генерирующей излучение длиной волны 172 нм. ВУФ-лампа и углерод в виде древесного угля или порошка графита, располагали в герметичной фотохимической ячейке из латуни. Атмосферный воздух прокачивали через фотохимическую ячейку с разными скоростями с помощью перистальтического насоса. Постоянное магнитное поле, необходимое для формирования условий сепарации изотопов  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$  в результате радикальной реакции, изменяли в диапазоне 0,5 – 1,4 Тл путем перемещения магнитов относительно зоны химической реакции. Продукты реакции проходили по стеклянным трубочкам и распылялись в дистиллированной воде. В фотохимической ячейке и над дистиллятом поддерживалось избыточное давление.

Известно, что растворимость  $\text{CO}_2$  более чем в 20 раз выше, чем компоненты воздуха и  $\text{CO}$ . Поэтому в воде в основном растворяется углекислый газ. Изотопный анализ проводили по интенсивности полос рамановского рассеяния растворенных в воде газов  $^{12}\text{CO}_2$  и  $^{13}\text{CO}_2$ .

Получены обнадеживающие результаты по сепарации изотопов  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ .

## КРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ГАЛЛАМ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

В.А. Архипов<sup>2</sup>, А.П. Березиков<sup>1</sup>, Д.Г. Видяев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>ОСП НИИПММ Томского государственного университета

Применение методов теории подобия и анализа размерностей является важнейшим и необходимым этапом как теоретического, так и экспериментального исследования физических процессов. Критерии подобия являются, как правило, соотношениями двух конкурирующих сил, поэтому при теоретическом анализе оценка соответствующих критериев подобия позволяет корректно сформулировать постановку задачи, а при экспериментальном исследовании процесса – на порядки сократить объем экспериментов.

В настоящем сообщении представлены результаты критериального анализа процесса получения галлам щелочных металлов непрерывным методом. Получение галламы лития, в частности, осуществляется в процессе диффузии лития в галлии при непрерывном прохождении капель галлия под действием силы тяжести сквозь слой расплавленного лития [1].

Рассматриваемый метод получения галламы лития включает ряд “элементарных” процессов – формирование и отрыв капель галлия, гравитационное осаждение капель в газе и в жидкости, деформация и дробление капель, тепло- и массообмен капель с окружающей средой – расплавом лития.

При проведении критериального анализа использовались два подхода – алгебраический метод Рэлея и метод анализа дифференциальных уравнений, описывающих исследуемый процесс. В результате проведенного анализа получена система определяющих критериев подобия – числа Рейнольдса, Стокса, Прандтля, Шервуда, Архимеда, Нуссельта, Вебера [2] и сформулирована структура критериальных уравнений процесса получения галлам щелочных металлов.

Полученные уравнения проанализированы совместно с результатами численного решения задачи. Показаны преимущества и ограничения используемых подходов.

### Список литературы

1. Тихомиров И.А., Орлов А.А., Видяев Д.Г. Разделение изотопов и элементов электрохимическими и обменными методами.– М.: Энергоатомиздат, 2003.– 204 с.
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике.– М.: Наука, 1977.– 440 с.

## РАВНОВЕСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НА ГРАНИЦЕ ГАЛЛАМА – ВОДНЫЙ РАСТВОР

Д.Г. Видяев, В.А. Власов, Д.А. Ижойкин

Томский политехнический университет

Наиболее важной характеристикой эффективности того или иного метода разделения служит коэффициент разделения  $\alpha$ . При разделении щелочных металлов в системе галлама – водный раствор, на границе раздела фаз протекает реакция химического обмена



Значение коэффициента разделения для данной реакции согласно [1] связано с потенциалом галлам разделяемых металлов выражением:

$$\alpha = \exp[\Delta EF/(RT)],$$

где  $\Delta E$  – разность равновесных потенциалов галлам металлов, участвующих в обмене;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $F$  – число Фарадея;  $T$  – абсолютная температура.

Таким образом, значения равновесных потенциалов на границе галлама – раствор разделяемых элементов позволяют оценить коэффициент их разделения, и чем больше будет разница потенциалов рассматриваемых элементов, тем больше и коэффициент разделения при обмене в галламной системе.

В работе [2] определялось значение равновесного потенциала при 34°C в системе галлама лития – раствор  $\text{LiClO}_4$  в пропиленкарбонате и в пересчете на водный раствор составило  $-2,2$  В относительно н.в.э.

Задачей данной работы было определение значения равновесного потенциала на границе галламы лития и водного раствора хлорида лития.

Потенциал галламы измеряли относительно хлорсеребряного электрода сравнения некомпенсационным методом на вольтметре постоянного тока с сопротивлением  $\sim 10^9$  Ом. Концентрация галламы при измерениях составляла 0,35 моль/л. Концентрация электролита выбиралась такой, чтобы коэффициент активности был близок к 1.

Установлено, что значение равновесного потенциала при 40°C в рассматриваемой системе составляет  $-2,3$  В против н.в.э., что хорошо согласуется с данными работы [2].

### Список литературы

1. Козин Л.Ф., Нигметова Р.Ш., Дергачева М.Б. Термодинамика бинарных амальгамных систем. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1977. – 343с.

2. Кабанов Б.Н., Киселева И.Г., Астахов И.И. и др. Катодное внедрение лития в галлий в неводном растворе // Электрохимия. 1974. Т. 10. Вып. 5. С. 765–767.

## О ХАРАКТЕРЕ ЗАТУХАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЛАЗМЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА

Ю.Ю. Луценко, В.А. Власов

Томский политехнический университет

По способу возбуждения газоразрядной плазмы высокочастотные разряды емкостного типа можно подразделить на высокочастотный факельный и высокочастотный емкостной разряды. В работе [1] нами было установлено отсутствие затухания первых двух гармоник электромагнитного поля вдоль оси высокочастотного факельного разряда, горящего в воздухе при атмосферном давлении. Для объяснения полученных результатов было высказано предположение о параметрическом взаимодействии электромагнитного поля с собственными колебаниями плазмы разряда. Так как характер электромагнитного поля высокочастотного емкостного разряда [2] сходен с характером электромагнитного поля высокочастотного факельного разряда, представляет интерес проанализировать также процесс распространения частотных составляющих вдоль оси высокочастотного емкостного разряда. В настоящей работе нами были проведены измерения осевого распределения частотных составляющих радиальной компоненты электрического поля вдоль оси высокочастотного емкостного разряда, горящего в воздухе и аргоне при атмосферном давлении. Измерения проводились при различных частотах основной гармоники.

В результате измерений нами было установлено существенное изменение декремента затухания (7...9 dB) частотных составляющих электромагнитного поля вдоль оси разряда при изменении частоты основной гармоники поля на 15...20%. При изменении частоты электромагнитного поля меняется также концентрация электронов, и соответствующие транспортные характеристики плазмы разряда. Однако, эти изменения не настолько велики, чтобы оказать существенное влияние на процесс распространения электромагнитной волны. Можно также предположить, что подобное изменение затухания частотных составляющих вдоль оси разряда обусловлено отражением электромагнитной волны в конце канала разряда. Однако проведённый нами расчёт показывает, что частота в этом случае должна измениться в десятки раз, а не на 20%. Таким образом, проведённые нами измерения позволяют предположить существование параметрического резонанса в плазме высокочастотного емкостного разряда.

Список литературы

1. Луценко Ю.Ю., Власов В.А., Тихомиров И.А. // Письма в ЖТФ. 2006. Т.32. Вып.9. С.23 – 27.
2. Луценко Ю.Ю. // ЖТФ. 2005. №11. С.124 – 127.

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАЗМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА НА ЕГО ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ю.Ю. Луценко, В.А. Власов

Томский Политехнический Университет

В работе [1] нами было высказано предположение о параметрическом взаимодействии электромагнитного поля с собственными колебаниями плазмы высокочастотного факельного разряда. Параметрический резонанс осуществляется на частотах [2] кратных электронной плазменной частоте. Поэтому условия резонанса в существенной мере будут определяться величиной плазменной частоты. Величина электронной плазменной частоты определяется концентрацией электронов в плазме разряда. В свою очередь концентрация электронов определяется температурой электронов в плазме разряда.

В настоящей работе нами рассмотрено влияние температуры электронов плазмы высокочастотного емкостного разряда на характер распространения вдоль его оси частотных составляющих электромагнитного поля. Измерения проводились для высокочастотного емкостного разряда, горящего в аргоне и смеси аргон – воздух при атмосферном давлении. Рассматривались три варианта разбавления воздухом аргона: 10%, 20% и 30% воздуха в смеси аргон – воздух. Измерения амплитуды частотных составляющих электромагнитного поля проводились посредством емкостного зонда, сигнал с которого подавался на вход спектроанализатора. Величина электронной температуры определялась по частотной зависимости континуума атомов аргона в диапазоне длин волн от 3300 до 4000 Å.

В результате проведенных измерений было установлено, что при разбавлении аргона воздухом наблюдается увеличение затухания всех гармонических составляющих электромагнитного поля, за исключением третьей гармоники. Для третьей гармоники наблюдается аномальный рост амплитуды вдоль оси разряда. Затухание гармоник обусловлено уменьшением электронной температуры, и соответственно, электронной концентрации плазмы разряда. В то же время аномальный рост третьей гармоники можно объяснить близостью её частоты к резонансной частоте собственных колебаний плазмы разряда, которая, в свою очередь, определяется также электронной концентрацией.

Список литературы

1. Луценко Ю.Ю., Власов В.А., Тихомиров И.А. // Письма в ЖТФ. 2006. Т.32. Вып.9. С.23 – 27.
2. Силин В.П. Параметрическое воздействие излучения большой мощности на плазму. М.: Наука, 1973. 287с.

## РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОНОПОЛЯРНЫХ ИОНИТОВ, СМЕШАННОГО СЛОЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБРАЩЕНИЯ ПОТОКОВ ФАЗ

А.А. Степанов, А.П. Вергун, А.В. Власов, В.С. Балашков

Томский политехнический университет

Изотопы нашли широкое применение в науке, технике, ядерной энергетике, различных областях промышленности, медицине. На кафедре «Техническая физика» физико-технического факультета Томского политехнического университета проводятся исследования по разработке эффективных экологически безопасных методов разделения изотопов и тонкой очистки веществ с применением ионообменного слоя и мембран.

При выборе ионитов для рассматриваемого процесса используется метод направленного поиска систем с максимальными разделительными свойствами. Разработана компьютерная программа, позволяющая определять скорость движения фронта в зависимости от плотности тока и отношения изучаемых подвижностей ионов. Расчеты проведены как для монополярных ионитов (катионы, анионы), так и для смешанного слоя ионообменников. Экспериментальная установка, реализующий данный метод разделения, включает противоточную обменную колонну и электродиализатор, в котором происходит обращение потоков фаз. В колонке осуществляется встречное движение ионита и раствора. Ионообменник движется в колонке сверху вниз. Скорость его движения может изменяться в широких пределах. Раствор подается в нижнюю часть колонны, в которой осуществляется противоток ионита и раствора. Оптимальная скорость движения ионита составила 0,04 см/с. На основании значений коэффициентов взаимодиффузии определена величина ВЭТС. Полученные расчетные значения этой величины согласуются с экспериментальными данными. При разделении изотопов легких щелочных элементов значение ВЭТС получено равным 6 см, а степень разделения 1,45. На основании полученных результатов по разделению изотопов в обменных и электроионитных процессах разработана компьютерная программа применительно к каскаду разделительных установок. Программа позволяет анализировать работу каскада в стационарных и нестационарных условиях. Рассматривается влияние флуктуаций основных параметров на эффективность работы каскада. Программа позволяет определять концентрационные профили характер распределения потоков выделяемого изотопа по ступеням каскада. Комплекс проведенных исследований по моделированию рассматриваемых процессов, разделению изотопных и ионных смесей на экспериментальной установке позволил сделать вывод об адекватности полученных в работе математических моделей, определить оптимальные условия разделительных процессов.



## РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ В УСЛОВИЯХ СОВМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ И ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

А.А. Степанов, А.П. Вергун

Томский политехнический университет

E-mail: stepanov86@sibmail.com

В данной работе рассматривается экологически чистый способ разделения изотопных и ионных смесей лёгких щелочных элементов в условиях электрохроматографии. Разделение проводится как в электрохроматографической колонке, так и в электродиализаторе с катионитовыми мембранами, служащими для увеличения числа переноса выделяемого иона. Также в электродиализаторе наблюдается дополнительное обогащение по легкому компоненту. В электрохроматографической колонке под действием электрических сил ионы мигрируют к катоду. Т.к. ионы легкого и тяжелого компонентов имеют разные подвижности, наблюдается разделение по подвижностям. Этот эффект усиливается, если использовать противоток, равный средней скорости движения фронта. Причем противоток по фазе ионита должен быть больше, чем противоток по фазе раствора. Объясняется это тем, что подвижность ионов в фазе ионита несколько больше, чем в растворе (для выбранных условий). Таким способом, достигается противоток движению фронта всей системы.

В ходе работы были проведены исследования способа разделения изотопных и ионных смесей в условиях электрохроматографии с движущимся слоем ионообменника. В экспериментальных исследованиях достигнута степень разделения изотопов лития, равная 1,09. При разделении ионов лития и натрия коэффициент разделения оказался равен 1,145. Разработана компьютерная программа для расчета скорости движения фронта в изучаемой системе. По программе проведены расчеты скорости движения средней точки фронта в хроматографической колонке. Скорость противотока оказалась равна 0,75 см/час. Проведены расчеты относительной концентрации легкого изотопа в фазе ионита в конечной части колонки и ВЭТТ, которая оказалась порядка 1мм. Проведены исследования по влиянию фотооблучения на физико-химические и сорбционные характеристики ионообменного материала. Данная обработка ионита позволяет увеличить селективность ионообменника в процессе изотопного разделения.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГИБКИХ ОБМЕННЫХ И ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ СИСТЕМ ИЗОТОПНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

В.С. Балашков, А.П. Вергун  
Томский политехнический университет  
balashkovvit@mail.ru

Важнейшее научное направление в области разделения изотопов связано с проведением комплексных теоретических и экспериментальных исследований по разработке новых более эффективных способов разделения изотопов. Большие возможности в этом плане открывают исследования в области изотопного обмена и электрохроматографии с применением ионитов и мембран. Концепция гибких производственных систем с точки зрения ресурсоэффективных технологий является доминирующей в ряде производств. Гибкость технологической системы можно определить как обобщённый показатель комплекса свойств, характеризующих её способность адаптироваться к изменению внешних условий и параметров процесса, сохраняя своё функциональное назначение. Обменные и электроионитные разделительные процессы можно отнести к гибким технологическим системам, т.к. они позволяют переходить от выпуска одной изотопной продукции к другой с минимальной переналадкой технологического оборудования.

Для моделирования, определения оптимальных условий разделения изотопов различных элементов при изотопном обмене и электрохроматографии использовались методы планирования экстремальных экспериментов. В процессах разделения изотопов применялись такие критерии оптимизации как коэффициенты разделения и обогащения, ВЭТТ, степень разделения, относительный выход обогащенного продукта, относительное содержание выделяемого изотопа в отборе и отвале. Для получения математических моделей процессов разделения изотопов использовались также обобщённые критерии. При разработке обобщённых критериев учитывается тот факт, что с увеличением обогащения продукта его себестоимость и ценность возрастает не пропорционально относительной концентрации выделяемого изотопа, а по более сложной зависимости. Относительная концентрация в данном случае входит в обобщённый критерий в виде степенной или логарифмической функции. Проведенный нами анализ обобщённых критериев показал возможность применения для описания процесса разделения изотопов в системе ионит-раствор критерия Мажумдара. Проведена проверка математических моделей на адекватность, предложены методы устранения неадекватности математических моделей в процессах разделения изотопов.

## ИЗМЕНЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ $\text{Na}^+$ И $\text{K}^+$ В ОСАДКАХ СОЛЕЙ ПРИ ИХ ФРАКЦИОННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ

А.Г. Белобаба, А.И. Маслий, А.А. Гусев, С.Н. Овчинникова

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск

В замкнутых системах жизнеобеспечения в силу ограниченных ресурсов остро стоит вопрос переработки минерализованных отходов жизнедеятельности человека (МОЖЧ) с целью получения из них пищевой соли для человека и питательного раствора для растений. В реальных МОЖЧ концентрация  $\text{NaCl}$  достигает 5-10 г/л, а соотношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+ \approx 0,4-0,8$  [1]. Предлагаемый в [1] способ решения задачи включает электролиз МОЖЧ с неселективными мембранами, получение щелочей  $\text{NaOH}$  и  $\text{KOH}$  в катодите, их разделение с помощью абсолютного спирта с последующим переводом щелочей в хлориды. При этом соотношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  в полученной смеси остается высоким (около 0.8).

В докладе изложены экспериментальные результаты по разделению солей  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  при фракционной кристаллизации модельных двойных (184 г/л  $\text{NaCl}$  + 108 г/л  $\text{KCl}$ ) и тройных (184 г/л  $\text{NaCl}$  + 108 г/л  $\text{KCl}$  + 82 г/л  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) солевых систем с исходным соотношением  $\text{K}^+/\text{Na}^+ = 0,78$  при  $t=90^\circ\text{C}$ . Предварительный электродиализ МОЖЧ с использованием ионообменных мембран может позволить (по литературным данным) получить концентрат солей с содержанием 250-300 г/л.

Как и следовало ожидать, при выпаривании двойной солевой системы в осадок преимущественно выпадает  $\text{NaCl}$  с небольшой примесью  $\text{KCl}$ . Соотношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  в осадке практически не зависит от степени выпаривания раствора и в диапазоне 20-50% находится на уровне 0,1. При выпаривании тройной системы появляются два типа осадков. При малой степени упаривания ( $\approx 10-20\%$ ) выпадает осадок, обогащенный калием (соотношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  в нем в среднем составляет 1,17). По данным РФА, этим осадком является фаза  $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ . При дальнейшем испарении раствора доля  $\text{K}^+$  в осадке снижается и при степени выпаривания 50- 60% соотношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  остается на уровне 0,25-0,3, а масса осадка соли составляет  $\approx 16\%$  от общей массы растворенных солей. Таким образом, из полученных результатов следует возможность получения из МОЖЧ продукта с соотношением  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  от 0,1 до  $\approx 0,3$ , что существенно ниже, чем 0,8 в [1].

### Список литературы

1. I.G. Zolotukhin et al. *Advances in Space Research* 35 (2005) 1559.

## ПЛАЗМЕННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ ОТХОДОВ

А.А. Каренгин, А.Г. Каренгин, А.Д. Побережников, А.В. Власов,  
П.В. Космачев, Р.С. Коротков  
Томский политехнический университет  
E-mail: karengin@tpu.ru

В процессе добычи и переработки нефти ежегодно только в России образуются миллионы тонн нефтяных отходов (шламов), которые представляют серьёзную угрозу для окружающей среды.

На кафедре «Техническая физика» Национального исследовательского Томского политехнического университета в рамках выполнения Инновационной образовательной программы университета 2007-2008г.г. создан плазменный модуль, на котором отрабатываются технологии и оборудование для экологически безопасной утилизации нефтяных и других горючих промышленных отходов в условиях неравновесной воздушной плазмы высокочастотного факельного разряда.

В состав плазменного модуля входит источник питания высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01 с рабочей частотой 13,56 МГц и колебательной мощностью 60 кВт, проточный высокочастотный факельный плазмотрон, плазмокаталитический реактор, узел подготовки из нефтяных отходов горючих композиций оптимального состава, узел диспергирования горючих композиций, узел «мокрой» очистки отходящих из реактора газов, узел автономного оборотного охлаждения генератора и плазмотрона, высоконапорный вытяжной вентилятор.

В процессе работы плазменного модуля определялось влияние анодного тока генератора ВЧГ8-60/13-01 и входной площади шибера реактора на распределение потерь тепловой мощности на теплонапряженных элементах генератора (анод генераторной лампы, сеточная и анодная индуктивности) и факельного плазмотрона (электрод и корпус) и температуру отходящих из реактора газов.

По результатам проведённых исследований определены и рекомендованы технологические режимы работы плазменного модуля, позволяющие осуществлять как быстрый разогрев плазменного модуля с достижением температуры отходящих из реактора газов температуры вспышки горючих композиций, так и длительную непрерывную работу плазменного модуля по плазменной переработке этих композиций.

Полученные результаты могут быть использованы для создания промышленных установок для плазменной утилизации нефтяных и других горючих промышленных отходов, а также оптимизации технологических режимов их работы.

## РАСЧЕТ ПЛАЗМЕННОГО ГЕНЕРАТОРА ТЕПЛА

А.Д. Побережников, А.Г. Каренгин, А.А. Каренгин, А.В. Власов,  
П.В. Космачев, Р.С. Коротков

Томский политехнический университет  
E-mail: karengin@tpu.ru

Данная работа посвящена расчету и оптимизации технологических режимов процесса сжигания в реакторе плазменного генератора тепла (ПГТ) промышленных жидких органических отходов в виде диспергированных горючих композиций оптимального состава (ДГК), имеющих адиабатическую температуру горения не менее 1200 °С.

Расчеты реактора проведены для ДГК, состоящей из масла б/у ВМ-4 (35%) и воды (65%). В качестве параметров оптимизации были выбраны следующие технологические характеристики: скорость ( $V_{ВП}$ ) и угол закрутки ( $\varphi$ ) воздушного потока на входе в реактор, скорость ( $V_{ПС}$ ) и температура ( $T_{ПС}$ ) воздушной плазменной струи факельного плазмотрона на входе в реактор, а также скорость ( $V_{ДГК}$ ) каплей, температура ( $T_{ДГК}$ ) каплей и расход ДГК ( $W_{ДГК}$ ). Ввод воздуха в реактор ПГТ осуществляется через импеллер для достижения определенного угла закрутки, которая необходима для равномерного распределения по объему реактора подаваемых на сжигание ДГК и стабилизации формы факела их горения.

Для расчета реактора ПГТ использовался программный комплекс ANSYS Fluent 6.3, имеющий большую базу данных по газообразным, жидким и твердым топливным материалам и позволяющий рассчитывать многофазные ламинарные и турбулентные течения, процессы теплопередачи, химические реакции. Для расчета реактора ПГТ была выбрана модель горения без предварительного смешения (non-premixed combustion model). Движение каплей диспергированных горючих композиций в реакторе ПГТ рассчитывалось с помощью модели дискретных фаз (discrete phase model). Обмен импульсом, теплотой, и массой между газом и каплями включался в расчет, чередуясь с расчётом траекторий каплей и уравнений непрерывной газовой фазы. Начальные условия ввода в реактор ПГТ диспергированных горючих композиций задавались поверхностью диспергатора с равномерно распределенным на нём конечным количеством точечных источников.

По результатам проведенных расчетов и анализа полученных результатов определены и могут быть рекомендованы для практической реализации следующие оптимальные режимы работы реактора ПГТ для экологически безопасного сжигания горючей композиции оптимального состава:  $T_{ПС} = 3000$  К,  $V_{ПС} = 20$  м/с,  $V_{ВП} = 80$  м/с,  $T_{ДГК} = 600$  К,  $W_{ДГК} = 1000$  л/ч,  $V_{ДГК} = 3$  м/с,  $\varphi = 30^\circ$ .

## РАЗРАБОТКА КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ГАЗОВ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ ПО ИХ СВЕЧЕНИЮ

С.Ф. Баландин, Д.Л. Гамов, В.Ф. Мышкин

Томский политехнический университет

E-mail: gam0540@sibmail.com

Метан, присутствующий в атмосфере в виде малой примеси, образуется в приземных слоях и поднимается вверх. Время жизни метана в атмосфере составляет 5-10 лет. Относится к парниковым газам (сильные полосы поглощения в ИК-области). Поэтому разработка дистанционных методов для контроля содержания метана является актуальной задачей.

Разрабатываемая методика дистанционного анализа газов основана на использовании их излучения в ИК-диапазоне при измерениях в надир. Условия измерений во многом зависят от физических характеристик различных слоев атмосферы, таких как концентрация газов, температура, а также уровня излучения земной поверхности в рабочем диапазоне спектра.

Проводились расчеты для оценки уровня регистрируемых сигналов при различных метеоусловиях. Использовалась известная модель многослойной атмосферы. В каждом из слоёв атмосферы были заданы усреднённые по глубине параметры: давление, температура, концентрации основных компонентов. Использовалась информационная система "SPECTRA" [1], установленная на базе ИОА СО РАН. SPECTRA используется в интерактивном режиме и позволяет рассчитывать данные с спектральным разрешением  $0,01 \text{ см}^{-1}$ .

Методика заключается в следующем: используется кювета с газовым фильтром, в которую напускается анализируемый газ. При этом необходимо, чтобы оптическая плотность газа в кювете была значительно больше, чем на трассе. Поэтому излучение на линиях поглощения анализируемого газа будет иметь полное поглощение в центре линии.

Нами проведен анализ различных атмосферных газов, рассчитаны значения аппаратной функции  $G=U_1-U_2/U_1+U_2$ , где  $U_1$ ,  $U_2$  - измеряемые сигналы в интервале  $\Delta\lambda$ .

$$U_1 = I_0(\lambda) c_1(\lambda) \exp(-\tau_{\text{атм}}(\lambda)) \exp(\tau_{\text{эт}}(\lambda)), \quad U_2 = I_0(\lambda) c_2(\lambda) \exp(-\tau_{\text{атм}}(\lambda)),$$
 где  $\exp(-\tau_{\text{эт}}(\lambda)) = c_2(\lambda) / c_1(\lambda)$ .

По результатам этих расчетов была получена зависимость величины сигнала фотоприемника от влажности и температуры атмосферы. Результаты проведенных расчетов показывают, что влияние различных мешающих факторов на условия проведения измерений не превышают допустимых пределов.

## ДЕСОРБЦИЯ ГАЗОВ ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ И СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ

В.А. Власов, Д.В. Савостиков

Исследование процессов десорбции газов с поверхности УДП железа, никеля и сложных оксидов металлов  $\text{CoO:Al}_2\text{O}_3\text{:ZnO:P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CoO:NiO:MnO}_2\text{:CeO}_2$  проводилось методом температурно-программированной десорбции в вакууме. В качестве регистрирующего устройства выделившихся газов использовался автоматизированный диагностический масс-спектрометрический комплекс (АДМСК), созданный на базе масс-спектрометра МХ-7203 [1].

Образцы металлов и сложных оксидов металлов, полученные методом электрического взрыва проводников и плазмохимическим методом, имеют удельную поверхность от 6 до 15 м<sup>2</sup>/г и средний размер частиц 0,05-0,15 мкм. Образцы хранились в течении 6 месяцев в полиэтиленовой упаковке при температуре  $t^\circ=20$  и влажности  $\delta\%=75$ .

Анализ экспериментальных данных показывает, что максимальное газовыделение из образцов приходится на диапазон температур 240-360 и 540-700 °С.

Качественный состав газов, выделяющихся при нагреве в вакууме УДП, никеля и железа следующий:  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , причем значительную часть выделившихся газов составили,  $\text{CO}$  (16 и 34 % объема, соответственно),  $\text{CO}_2$  (32 и 74% объема) и  $\text{H}_2$  (9-14 % объема), а также  $\text{NO}$  у УДП железа (17% объема).

Установлено, что основной формой адсорбции газов на исследуемых порошках является хемосорбция [2]. Выделение вышеперечисленных газов носит стадийный характер.

Суммарная концентрация выделившихся газов одного порядка для всех исследованных образцов металлов.

В отличие от порошков металлов, где большую часть выделившихся газов составляют  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ , в порошках сложных оксидов металлов преобладает молекулярный кислород, составляющий приблизительно 85% объема всех выделившихся газов. Причем интенсивное выделение кислорода начинается с температур, превышающих 600 °С.

### Список литературы

1. Власов В.А., Побережников А.Д., Савостиков Д.В. // Известия ТПУ. 2003. Т. 306. № 3. С. 70–72.
2. Власов В.А., Савостиков Д.В. // Известия ТПУ. 2003. Т. 306. № 2. С. 75–77.

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – НАША ЦЕЛЬ

А.Д. Пархоменко, В.А. Сызранцев

ООО ПНП «АТЕКС» г. Новосибирск

Доклад посвящен вопросу модернизации систем обратного водоснабжения на различных предприятиях народного хозяйства в т.ч. на предприятиях Росатома. В большинстве своем промышленные предприятия, связанные с большими оборотами воды на внутренние нужды для охлаждения технологического оборудования, используют для этих целей энергозатратные вентиляторные градирни для охлаждения воды, повысительные и зумпфовые насосные станции для подачи воды на оборудование и возврата ее на охлаждение в градирню. Что касается собственно установок охлаждения воды (градирен), то в настоящее время их существует множество типов, в т.ч. градирни эжекционного типа, наиболее перспективные, на наш взгляд, с точки зрения простоты и надежности в работе, а также отсутствия затрат на энергоснабжение градирен. Кроме того, эффективность охлаждения воды в эжекционных градирнях на 2...3 гр. С выше по сравнению с вентиляторными, что немаловажно, особенно в летний период, когда наружная температура воздуха превышает 30 гр.С. Особое внимание при модернизации систем обратного водоснабжения следует уделять применению станций частотного управления двигателями насосов повысительной и зумпфовой насосных станций. Применение частотных преобразователей в совокупности со следящими уровнемерами в зумпфах и датчиками давления(напора) для управления насосными агрегатами позволило создать саморегулируемые системы с реакцией на изменение расходных и напорных характеристик системы обратного водоснабжения. При этом системы управления автоматики реагируют на изменение нагрузок на технологическом оборудовании и поддерживают заданный уровень в зумпфах при изменении расходов от оборудования. Кроме того, совместно с существующей системой, контролируется автоматический переход на систему управления от СЧУ, опорожнение резервуара, отключение существующей системы, заполнение до разрешающего уровня, автоматический запуск агрегатов от СЧУ, а также достаточное быстрое действие. Применение станций частотного управления в системах обратного водоснабжения позволило значительно снизить энергетические затраты на охлаждение и транспортировку воды, эксплуатационные расходы и существенно улучшить качество и надежность управления технологическими процессами. Система обратного водоснабжения реализована и прошла успешные испытания на Новосибирском заводе химконцентратов.



## К ВОПРОСУ МНОГОРАКУРСНОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННИХ РАЗМЕРОВ ТВЭЛ

В.Г. Ефимов, М.С. Лихачев

Бийский технологический институт филиал АлтГТУ им. И.И. Ползунова

Процедура контроля толщины стенок ТВЭЛ представлена в работе [1]. Данная методика включает введение изотопа внутрь корпуса, перемещение и/или вращение объекта, регистрация и расчет полученных спектров с выдачей информации по толщине. Такой способ контроля приемлем только для незаполненных ТВЭЛ, т.к. источник излучения помещается внутрь корпуса объекта.

Возможным вариантом контроля заполненных ТВЭЛ является многоракурсная визуализация, когда источник излучения находится вне ТВЭЛ. В этом случае информация о внутренней конфигурации извлекается из данных о координатах контура рентгеновского изображения на экране-преобразователе. Такой подход реализован, в частности, при контроле отливок со сложной внешней конфигурацией с визуальной оценкой размеров дефектов [2].

Нами разработан подход к восстановлению трехмерных координат внутренней структуры объекта на основе контурного представления радиационного изображения. Источником информации в этом случае является двумерные координаты контура на рентгеновском экране, угол поворота объекта. Математической основой для восстановления координат является элементы теории дифференциальной геометрии, в частности теория конгруэнции кривых.

Представленный метод заложен в основу методики и программы обработки, реализующий эту методику. Исследования подтверждены результатами теоретического и натурного моделирования, когда объектом исследования является эллипсоид вращения произвольным образом размещенный в металлическом корпусе. Проведенные исследования могут быть эффективно использованы в задачах пленочной радиографии изделий со сложной внутренней конфигурацией.

### Список литературы

1. Омельник А.П., Левенец В.В., Щур А.А. Неразрушающий контроль выгорающего поглотителя в материалах и изделиях для ядерной энергетики / А.П. Омельник, В.В. Левенец, А.А. Щур // Вісник Харківського університету. 2005. № 710.
2. Паспоу Н. Цифровые рентгеновские детекторы и их преимущества при автоматическом контроле изделий в литейном производстве // В мире неразрушающего контроля. 2000. № 4(10).

## РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В РЕЭКСТРАКЦИОННОЙ КОЛОННЕ

А.А. Денисевич, Ю.А. Чурсин, С.С. Михалевич, Ш.П. Самусенко

Томский политехнический университет

Важным фактором, влияющим на процесс экстракции, является температура раствора в экстракционной колонне. В нормальном режиме работы колонны температура не должна быть меньше нижней температурной границы, иначе увеличение вязкости органической фазы приведет к прекращению процесса экстракции. В то же время, температура не должна превышать верхней температурной границы, так как уменьшение вязкости органической фазы приведет к тому, что уран не будет успевать экстрагироваться из водной фазы полностью. Таким образом, изучение динамического процесса теплопереноса в экстракционной колонне является важной задачей [1].

В ходе моделирования распределения температуры были приняты допущения, с учётом которых составлено математическое описание тепловых процессов в колонне. Для моделирования распределения температуры в колонне по высоте, она разбивалась на элементарные участки, называемые ступенями. Для каждой ступени решается уравнение теплового баланса, включающее в себя четыре компонента. Первый учитывает температуру поступающих в колонну сплошной и дисперсной фаз. Второй – теплопередачу через боковую поверхность колонны, третий – тепловой эффект реакции, четвёртый – тепловой эффект радиоактивного излучения [2].

Полученная модель теплопереноса позволяет определить изменение температуры сплошной и дисперсной фаз при изменении температуры входных потоков фаз, расхода каждой фазы и начальной концентрации урана в фазах. Включение полученной модели в модель процесса экстракции [3] позволяет учесть влияние температуры на вязкость и скорость дисперсной фазы, что в свою очередь приводит к более точному описанию динамики процесса экстракции.

### Список литературы

1. Столер А., Ридчарс Р. Переработка ядерного горючего; Пер. с англ. А.П. Зефирова. – М.: Атомиздат, 1964. – 645 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Перепечатка с девятого издания 1973г. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008 – 753 с.
3. Чурсин Ю.А., Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н. // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 311. № 5. 149с.

## ЧЕЛОВЕЧЕСТВО. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. АВТОТРОФНОСТЬ (МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОСМЫСЛЕНИЕ)

А.Д. Московченко

Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники

Человечество стоит перед жестким выбором. Или полномасштабный переход на автотрофный технологический сценарий развития, предложенный русской космической мыслью (прежде всего трудами В.И. Вернадского), который дает возможность продолжить духовную эволюцию человечества, или же дальнейшее технологическое движение в традиционных рамках (за счет нефти и газа), связанное с самоуничтожением человечества. Нами предложен предварительный научно-технологический прогноз решения проблем, который бы позволил нашей цивилизации выжить и занять достойное место в природно-иерархической космической системе. Среди них сформулирована задача первостепенной важности: «Управляемый атомный и термоядерный синтез как энергетическая основа перехода человечества к автотрофному существованию [1, с.66] . Нам также удалось концептуально выразить качества автотрофного человечества будущего. Таких качеств три: 1) автономность существования, 2) оптимальность функционирования, 3) гармоничность сосуществования естественных и искусственных миров. Все это имеет самое прямое отношение к атомной (ядерной) энергетике. Оказывается, современная атомная энергетика в определенной мере отвечает двум важнейшим качествам (требованиям) автотрофности: 1) автономности и 2) оптимальности. Автономность существования и оптимальность функционирования атомно-энергетических установок связана с особенностью атомного топлива (высокая степень компактности). Вместе с тем есть трудноразрешимые проблемы с третьим условием автотрофности – гармоничности существования. Это связано прежде всего с проблемой захоронения радиоактивных отходов. Но и она может быть разрешена, если искусственную радиоактивность, порожденную энергетическими реакторами, сопрягать с радиоактивностью естественной среды. И такие ядерные технологии уже предлагаются. В области реакторостроения ведется поиск в направлении создания поколения реакторов, обладающих *естественной безопасностью* [2].

### Список литературы

1. Московченко А.Д. Русский космизм. Глобальные проблемы XXI века//Известия ТПУ, № 6. 2009.
2. Московченко А.Д. Проблемы интеграции фундаментального и технологического знания. Томск: ТУСУР, 2001. – 192 с.

## ЭЛЕМЕНТЫ СЕМИОТИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ В КУРСЕ «ИНФОРМАТИКА»

С.П. Вавилов, В.А. Силич, О.Б. Фофанов

Томский политехнический университет

Вся человеческая деятельность пронизана знаковыми системами. Проблемы знаков, символов всегда интересовали как философов и филологов, так и представителей других отраслей знаний. В докладе нами сделана попытка описать те разделы общего курса информатики, где можно использовать элементы семиотики.

Основное внимание авторы уделили изложению элементов семиотики, которые относятся к категории универсальных компетенций и являются частью общенаучных компетенций.

К сожалению, типовая программа по ГОС дисциплины «Информатика», например, для студентов по специальности «Экономика», не содержит разделов изучения элементов семиотической компетентности. В своей деятельности авторы использовали вузовскую компоненту учебной программы по стандарту Национального исследовательского Томского политехнического университета. Однако, на наш взгляд, проблема изучения элементов семиотической компетентности выходит за рамки региональных вузов.

Во вводной части курса следует детально остановиться на таких понятиях как обозначение и значение, раскрыть по возможности содержание синонимических понятий таких слов как идентификатор, объект, метод, маркер, смысл, сущность и т.п.

Раздел дисциплины, связанный с кодированием информации может быть разбит для изучения семиотических элементов на две части. В первой содержится изложение принципов работы компьютерной клавиатуры, классификация способов ввода информации. Кратко можно изложить принципы работы альтернативных клавиатур (по системе Дворака, клавиатур для незрячих людей и для людей-инвалидов). Необходимо также дать понятие о том, как создаются клавиатуры с символами национальных алфавитов.

Вторая часть может быть посвящена изучению кодовых таблиц. Следует изложить проблемы, с которыми столкнулись разработчики компьютеров при кодировании знаков письменностей, используемых в мире. С большим интересом студенты узнают о том, что люди в мире используют около 50 тысяч различных знаков, что существуют различные азбуки-алфавиты для записи языков общения людей. возможных символов, что позволило присваивать коды всем необходимым знакам по определенной схеме.

## КОМПЛЕКСНОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ДОБЫЧЕ УРАНА СПОСОБОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

М.Д. Носков, А.Д. Истомин, А.Г. Кеслер, С.Н. Носкова, А.А. Чеглоков

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

Работа предприятия по добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) представляет собой функционирование распределённой геотехнологической системы. Особенности геотехнологического процесса являются сложность происходящих физико-химических процессов, недостаток информации о состоянии продуктивного горизонта, значительная инерционность, ограниченные возможности воздействия на движение растворов. Управление работой предприятия требует проведения анализа больших объемов разнородных данных, на всех стадиях работы предприятия - от проектирования до вывода из эксплуатации. Одним из направлений повышения эффективности работы предприятия является применение современных информационных технологий для сбора, хранения, обработки, анализа и визуализации данных, проведения геологических, геотехнологических, экономических и геоэкологических расчетов. В работе рассматривается программный комплекс для сквозного информационного обеспечения геотехнологического предприятия по добыче урана методом СПВ на всех этапах жизненного цикла, включая разведку и подготовку месторождения, проектирование вскрытия рудных залежей, отработку месторождения, вывод из эксплуатации и рекультивацию природной среды. Комплекс включает в себя геологическую геоинформационную, технологическую информационную, моделирующую и экспертно-аналитическую системы. Геологическая геоинформационная система позволяет проводить сбор, хранение, обработку и интерпретацию данных о рудовмещающем горизонте. Технологическая информационная система предназначена для сбора, хранения, обработки и визуализации информации о работе предприятия. Геотехнологическая моделирующая система служит для моделирования отработки месторождения урана методом СПВ. Экспертно-аналитическая система предназначена для подготовки решений, планирования и анализа работы предприятия. Применение комплекса позволяет создать единую информационную среду геотехнологического предприятия, повысить оперативность сбора и обработки данных, исключить потерю данных, организовать дифференцированный доступ к производственной информации, обеспечить руководство предприятия необходимой для принятия правильных управленческих решений информацией.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО НЕРАВНОВЕСНОГО ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА В КОЛОННОМ ЭКСТРАКТОРЕ

А.Г. Горюнов<sup>1</sup>, Ю.А. Чурсин<sup>1</sup>, С.С. Михалевич<sup>1</sup>, Д.Г. Рогозный<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Сибирский химический комбинат

В основе радиохимической технологии переработки ядерного топлива на действующих радиохимических заводах лежит водно-экстракционный процесс выделения из раствора топлива целевых макро и микрокомпонентов, с последующей очисткой. Такой процесс относится к технологиям высокой ответственности и опасности, поэтому разработка адекватных математических моделей актуальна в настоящее время. Существующие статические модели процессов в экстракционных колоннах не позволяют моделировать динамические связи между управляющими воздействиями и контролируемыми переменными, поэтому эти модели невозможно использовать для синтеза и анализа эффективных алгоритмов управления, а также для компьютерного испытания систем автоматизированного управления. Ранее полученные в лаборатории кафедры результаты исследований [1] включают: разработку математических и компьютерных моделей процессов экстракции/реэкстракции и синтез систем управления с применением компьютерного моделирования; разработку алгоритмов управления в составе АСУ ТП радиохимического производства СХК. В продолжение этих исследований разработана динамическая модель, основанная на диффузионной кинетике массопереноса. Модель основана на решении системы дифференциальных уравнений для  $n$  ячеек и  $k$  компонентов, построенной с учетом материального баланса и массового потока за счет диффузии молекул  $j$ -го компонента в  $i$ -ой ячейке. Модель позволяет рассчитывать пространственно-временные зависимости концентраций макро и микрокомпонентов в зависимости от входных расходов, параметров потоков, геометрии колонны и других параметров и переменных. Исследования поддержаны грантом ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы в рамках мероприятий 1.2.2 и 1.3.1.

### Список литературы

1. Горюнов А.Г., Чурсин Ю.А., Турецков К.В. // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2009. № 1. С. 56–65.
2. Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н., Чурсин Ю.А. // Известия ТПУ. 2009. Т. 314. № 5. С. 75–80.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТРИФТОРМЕТАНСУЛЬФОФТОРИДА

А.Г. Горюнов, К.Б. Панов, Е.В. Савкина

Томский политехнический университет

Проведенный аналитический обзор показал, что электрохимическое фторирование метансульфохлаорида в безводном фтористом водороде является на настоящий момент единственным способом, применяемым для производства трифторметансульфофторида. При этом существует несколько гипотез, объясняющих механизм фторирования. Такая неопределенность объясняется, прежде всего, сложностью обращения с безводным фтористым водородом. Проведенный анализ электролизера как объекта управления показал, что для управления необходимо использовать концентрацию метансульфохлаорида (посредством его массового расхода), а в качестве регулируемой переменной – удельную электропроводность электролита. В виду перечисленных особенностей исследуемого процесса, модель электролизера производства трифторметансульфофторида как объекта управления должна учитывать не только физические, но и химические процессы, протекающие в электролизе, воспроизводить динамические связи между входными и выходными переменными. Разработанная модель в отличие от ранее выполненных работ [1] учитывает кинетику химических реакций синтеза трифторметансульфофторида, материальный баланс, зависимость удельной электропроводности раствора от концентрации метансульфохлаорида, тепловой баланс. Разработанную модель планируется использовать для синтеза и анализа алгоритмов управления электролизером синтеза трифторметансульфофторида. Исследования поддержаны грантом ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы в рамках мероприятия 1.2.2 по проблеме «Компьютерное моделирование, автоматизированное управление и оптимизация электрохимических производств».

### Список литературы

1. Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н., Бейгель А.Г., Панов К.Б. Система экстремального управления электролизером производства трифлатов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 5. – С. 85–88.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВА СТЕРЖНЕЙ-ОСНОВ УСТАНОВКИ ВОДОРОДНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Р.К. Лидовский, А.Г. Горюнов, К.А. Козин, С.А. Сачков

Томский политехнический университет

Кремний – основной полупроводниковый материал, применяемый в современной микроэлектронике, силовой электронике, солнечной энергетике. Состояние производства поликристаллического кремния – основного сырья в значительной степени определяет уровень развития высокотехнологичных отраслей промышленности. Анализ существующей технологии получения высокочистого поликристаллического кремния с использованием постоянного тока показал наличие ряда недостатков: высокие затраты на электроэнергию; неравномерный температурный профиль в объеме нагревательных стержней; высокие механические напряжения в объеме нагревательных стержней. Эффективным решением данной проблемы является использование источников высокочастотного переменного тока реализующие скин-эффект – распределение тока высокой частоты преимущественно в поверхностном слое при протекании его по проводнику. Одним из важных моментов в модернизации технологии является разработка силовой части, а именно создание силового инвертора, отвечающего заданным параметрам [1]. В лаборатории кафедры «Электроника и автоматика физических установок» для решения этой задачи разработана математическая модель импульсного источника питания. Модель реализована в среде «Matlab/Simulink» с применением библиотеки «Sim Power System», которая позволяет выполнять моделирование (расчет) формы импульсов пульсирующего тока в зависимости от частоты и параметров схем силовой части источника питания резистивного нагрева стержней-основ установки водородного восстановления. Основной планируемый эффект от внедрения результатов НИР: существенная экономия электроэнергии; снижение стоимости оборудования за счет исключения дорогостоящих дросселей и конденсаторных блоков; выравнивание радиального профиля температуры в стержнях; увеличение скорости осаждения кремния, увеличение производительности, уменьшение времени технологического процесса.

### Список литературы

1. Устройство для регулируемого нагревания кремниевых стержней: пат. 2346416 Рос. Федерация; опубл. 10.02.2009.



## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОТОКА ОРГАНИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КАСКАДА ЭКСТРАКЦИОННЫХ КОЛОНН С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖНЫМИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

К.А. Иванов<sup>1</sup>, А.Г. Горюнов<sup>2</sup>, Э.Ю. Шенцов<sup>1</sup>, В.И. Сухов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский химический комбинат

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

Поток органической фазы в каскаде экстракционных колонн оказывает существенное влияние на процессы экстракции и реэкстракции урана, задает производительность каскада. Нестабильность потока приводит к различного рода негативным последствиям, таким как перерасход реагентов, аварийное отключение насосов или снижение качества конечного продукта. Существующая система стабилизации потока органической фазы установки М-1345 включает четыре буферные емкости и установленные в них погружные центробежные насосы. Органическая фаза самотеком поступает из верхних отстойных зон колонн в буферные емкости, откуда откачивается центробежными насосами. Управление расходами осуществляется путем изменения напора на выходе насосов. Для этого используются регулирующие вентили и исполнительные механизмы постоянной скорости. При увеличении напора поток органической фазы возвращается по байпасной системе в буферную емкость. При работе системы необходимо обеспечивать заданные пределы уровней в буферных емкостях, не допускать аварийного отключения насосов при холостом ходе и при этом обеспечивать стабильность потока органической фазы. Исследования показали, что решить такую задачу в существующей системе на установке М-1345 с применением САР с исполнительными механизмами постоянной скорости затруднительно по причине недостаточного быстродействия последних. Поэтому предлагается изменить схему управления расходом – применить частотное управление погружными центробежными насосами. Такой подход должен обеспечить решение поставленной задачи, а также позволит значительно снизить затраты по электроэнергии. В настоящее время осуществляется синтез и анализ такой системы методом математического моделирования. После компьютерных испытаний системы планируется ее внедрение на Радиохимическом заводе Сибирского химического комбината.

### Список литературы

1. Система стабилизации потока органической фазы в каскаде колонн установки М-1345: Отчет о НИР (промежуточ.) / ТПУ, СХК; рук. Ливенцов С.Н.; исполн.: Лысенко А.А. [и др.]. – Северск – Томск, 2004. – 54 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СДВОЕННОЙ ЭКСТРАКЦИОННОЙ КОЛОННЫ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Д.Г. Рогозный<sup>1</sup>, А.Г. Горюнов<sup>2</sup>, Ю.А. Чурсин<sup>2</sup>, С.С. Михалевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский химический комбинат

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

Урановый химический концентрат является промежуточным сырьем производства тетрафторида урана и закиси-окиси урана, которые являются в свою очередь сырьем для производства гексафторида урана. Это сырье требует очистки от примесей – аффинажа урана. Цель аффинажа – получение соединений урана, отвечающих определенным требованиям (кондиции на содержание примесей в ядерно-чистом уране). Аффинаж с применением экстракции – в настоящее время наиболее употребительный и эффективный метод. В настоящее время ТБФ широко используют для аффинажа урана во всех странах мира, где существует атомная технология. Выполненные исследования [1] позволили переориентировать работу установки второго цикла по переработке облученного ядерного топлива М1345 Радиохимического завода СХК на переработку урановых концентратов. Для достижения высоких показателей очистки сырья была изменена схема подачи водной фазы в каскаде колонн. Перерабатываемый продукт подается во вторую колонну, при этом первая колонна осталась головной в каскаде относительно потока органической фазы. В результате совместной работы первой и второй колонн (сдвоенной экстракционной колонны) образуется система, работа которой влияет на стабильность работы всей установки, поэтому задача автоматизации процесса экстракции в этих колоннах является первоочередной. В настоящее время осуществляется синтез и анализ САУ сдвоенной колонны методом математического моделирования. Разработана динамическая модель учитывающая процесс неравновесной экстракции макро и микрокомпонентов в сдвоенной колонне, тип и место установки датчиков, а также отстойные зоны колонн и работу выносного насоса. Предложена дополнительная установка концентратомеров и измерителей задержки дисперсной фазы, необходимых для увеличения качества работы САУ. Кроме того, модель будет использоваться для компьютерных испытаний системы, после которых планируется внедрение САУ на Радиохимическом заводе Сибирского химического комбината.

Список литературы

1. Лазарчук В.В., Шикерун Т.Г., Рябов А.С., Шамин В.И., Жиганов А.Н. // Изв. Томск. политехн. ун-та. 2007. Т. 311. № 3. С. 5–10.

## ЭКСПЕРТНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧНЫМ КОМПЛЕКСОМ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.Д. Истомин, А.А. Чеглоков, М.Д. Носков

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) является сложным геотехнологическим процессом. Отличительными особенностями СПВ являются значительная инерционность процесса (время реакции системы на управляющее воздействие может достигать нескольких месяцев) и недостаток информации о состоянии рудного горизонта. Для эффективного управления СПВ необходимо анализировать большое количество данных о состоянии продуктивного горизонта и параметрах технологического процесса. В настоящей работе представлена экспертно-информационная система (ЭИС), предназначенная для сбора, хранения, обработки и визуализации информации о работе добычного комплекса. ИС состоит из трёх подсистем: общения, обработки данных и управления базой данных. Подсистема общения обеспечивает сопряжение внешних систем и взаимодействие персонала с ИС. Подсистема общения состоит из блоков импорта данных от внешних систем, ввода результатов химических анализов (концентрации серной кислоты, урана и других компонентов), гидродинамических данных (давления, уровней подземных вод, дебитов скважин, блоков, расходов растворов в трубопроводах), технологических данных (характеристик оборудования, соответствия между трубопроводами, блоками и т.д.), а также блоков общения геотехнолога и руководителя. Подсистема обработки данных выполняет анализ данных, полученных от подсистемы общения и из базы данных, расчет технологических показателей, сортировку и запись в базу данных значений, полученных от подсистемы общения, и рассчитанных параметров. Подсистема состоит из блоков обработки геологических данных и данных автоматического контроля, проверки и обработки вводимых данных, геотехнологических расчетов, экспертной оценки и прогнозирования отработки блоков. Подсистема управления базами данных содержит пять логически разделенных баз данных (гидродинамических, технологических, химических анализов, геотехнологических, анализов и прогнозов). Применение ЭИС обеспечивает своевременный сбор, надежность хранения и достоверность информации о работе предприятия, оперативность доступа к любой информации на различных уровнях, позволяет проводить анализ эффективности и прогнозирования отработки месторождения.

## СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ ГЕКСАФТОРИД УРАНА

А.В. Вильнина

Томский политехнический университет  
E-mail: anviv@mail.ru

Рост мировых цен на основные энергоносители и усиливающиеся опасения по поводу конечности запасов углеводородного топлива, реанимировали интерес к атомной энергетике в мире. В связи с этим крайне актуальным становится задача повышения производительности предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), которые обеспечивают потребности в топливе российские АЭС.

Одним из таких предприятий является Субликатное производство гексафторида урана Сибирского химического комбината, конечным продуктом которого является гексафторид урана.

Задачей данной работы является разработка математического описания процесса десубликации гексафторид урана с целью синтеза алгоритмов управления обеспечивающих требуемое качество, устойчивость и повышение производительности существующих аппаратов в условиях конкретного действующего производства. При решении задач автоматического регулирования используется два основных подхода построения математических моделей: на основании описания физико-химических свойств и результатов экспериментальных исследований.

В основу рассматриваемого процесса десубликации гексафторид урана положены такие физические явления как массо- и теплообмен, движущей силой которых является разность температур между технологическим газом и хладагентом или разность парциальных давлений компонент технологического газа в объеме десублиматора [1]. Величина температуры охлаждающей поверхности  $T_n$  является мерой изменения парциального давления газообразной фазы гексафторид урана в обедняемом технологическом газе и, как следствие, мерой степени десубликации. Определение температуры поверхности позволит рассчитать время захолаживания, которое необходимо для осаждения продукта заданной толщины, что будет являться уставкой в алгоритме управления аппаратом десубликации.

### 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.

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ АППАРАТОВ ФТОРИРОВАНИЯ И УЛАВЛИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

С.А. Байдали, В.Ф. Дядик, О.П. Савитский \*, Н.С. Криницын

Томский политехнический университет, г. Томск

\*ОАО «Сибирский химический комбинат», г. Северск

E-mail: basa@tpu.ru

В Российской Федерации существует только два предприятия осуществляющие производство гексафторида урана: ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат» (АЭХК) и ОАО «Сибирский химический комбинат» (СХК). И только на сублиматном заводе СХК это производство является замкнутым посредством импульсного пневмотранспорта твердых продуктов, образующихся в аппарате улавливания, в аппарат фторирования. На химическом заводе АЭХК реализован контейнерный способ перегрузки полупродуктов. В связи с этим задача синтеза системы автоматизированного управления комплексом аппаратов фторирования и улавливания производства гексафторида урана на СХК является уникальной для Российской Федерации.

В работе исследуются возможные структуры САУ комплексом аппаратов фторирования (ПР) и улавливания (АКТ) с учетом требования согласованной загрузки в них твердофазных компонентов и необходимости максимального улавливания ценных компонентов хвостового технологического газа. Разрабатывается, а затем исследуется алгоритм согласованной загрузки твердого сырья в аппараты ПР и АКТ. Проводится структурный и параметрический синтез системы управления избытком фтора в ПР и стабилизации температуры реакционной зоны АКТ. Приведены результаты вычислительных экспериментальных исследований предлагаемой системы. В результате оценены их устойчивость, определены численные значения прямых показателей качества и чувствительности системы к нестабильности параметров динамических моделей ПР и АКТ. Анализируются результаты производственных испытаний всей системы.

Внедрение предлагаемой системы управления позволит значительно усовершенствовать ТП получения гексафторида урана и улучшить технико-экономические показатели его работы за счет стабилизации всех контролируемых технологических переменных производства на заданных уровнях, значительно повысив тем самым надежность и качество управления всем производством, а также увеличив межремонтный пробег аппаратов фторирования, улавливания и десублимации.

## АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ SIEMENS-РЕАКТОРОМ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

К.А. Козин, А.Г. Горюнов  
Томский политехнический университет  
E-mail: kozin@phtd.tpu.ru

Наличие таких особенностей Siemens-технологии производства поликристаллического кремния методом водородного восстановления трихлорсилана [1], как: нестационарность объекта управления, обусловленная увеличением диаметра исходных стержней в десятки раз; обратная температурная зависимость электропроводимости кремния, отсутствие возможности контроля температуры поверхности кремниевых стержней (исключая точечное измерение) и наличие внутреннего градиента температуры по радиусу стержня [2] несет определенные проблемы при разработке систем автоматизированного управления аппаратами.

В данной работе предложена каскадная двухконтурная система автоматизированного управления Siemens-реактором с программным заданием изменения величины тока через стержни и диаметра стержней, выбран тип регулятора и рассчитаны его параметры. Введение внутреннего быстрого контура по каналу «сопротивление» обусловлено существенной тепловой инерционностью объекта управления и направлено на компенсацию возмущений по температуре. При этом используется интегральная переменная – сопротивление стержня, а не точечное измерение внешним прибором, что является несомненным плюсом по сравнению с одноконтурной САУ по прямым измерениям температуры, так как система получается более чувствительная к возмущениям и менее инерционная. Внешний контур по температуре необходим для автоматизированной корректировки программы роста диаметра.

Предложен, программно реализован и исследован алгоритм управления, обеспечивающий оптимальную траекторию ведения технологического процесса. Показана возможность применения разработанного алгоритма управления для автоматизации подобных аппаратов.

### Список литературы

1. Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червоный И.Ф. и др. Технология полупроводникового кремния – М.: Металлургия, 1992. – 408с.
2. Temperature homogeneity of polysilicon rods in a Siemens reactor. G. del Coso, I. Tobiras, C. Canizo, A. Luque/ Journal of Crystal Growth 299 (2007) 165–170.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТОКА

С.А. Сачков, К.А. Козин, А.Г. Горюнов  
Томский политехнический университет  
E-mail: kozin@phtd.tpu.ru

Полупроводниковый поликристаллический кремний является основным сырьевым материалом фотовальтаики и силовой электроники. В промышленном производстве наибольшее распространение получил метод парофазного химического осаждения в реакторах проточного типа, в котором образующийся кремний осаждается на разогреваемых электрическим током кремниевых стержнях-основах [1]. Возникающий радиальный градиент температуры в кремниевых стержнях вследствие тепловых потерь влечет невозможность поддержания необходимой температуры поверхности в течение всего времени технологического процесса.

Эффективным решением данной проблемы без включения конструктивных изменений в аппарат является использование для резистивного нагрева стержней высокочастотного переменного тока, реализующий скин-эффект [2]. Существенные трудности аппаратной реализации источников тока синусоидальной формы требуют рассмотрения возможности применения источников пульсирующего тока для реализации резистивного нагрева стержней. В основе исследования был положен подход, представленный в работе [3] для тока гармонической формы, а также теория рядов Фурье для представления пульсирующего тока в виде суперпозиции гармонических сигналов.

Результаты исследований показали отсутствие существенных отличий при нагреве стержней гармоническим и пульсирующим токами. При этом необходимо отметить, что реализация источника пульсирующего тока на современной элементной базе силовой преобразовательной технике значительно проще и дешевле чем реализация гармонического.

### Список литературы

1. Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червоный И.Ф. и др. Технология полупроводникового кремния – М.: Металлургия, 1992. – 408с.
2. Pat. 5976481 US, C 01 B 33/035. Polycrystal silicon rod and production process therefor / Junichi K., Hiroyuki O; appl. 20.01.98; publ. 02.11.99.
3. G. del Coso, I. Tobiras, C. Canizo, A. Luque. Temperature homogeneity of polysilicon rods in a Siemens reactor. / Journal of Crystal Growth 299 (2007) 165–170.

## НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРА, ОСНОВАННОГО НА КОСВЕННОМ МЕТОДЕ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Е.В. Ефремов, А.А. Каргин

Томский политехнический университет

При синтезе систем автоматического управления (САУ), когда исходное описание проблемы является неточным, целесообразно воспользоваться технологией нечеткого моделирования. Однако нечетким САУ (*F*-САУ) присущи следующие недостатки: необходимость создания громоздких баз правил, необходимость определения процедур фаззификации и дефаззификации. Существуют косвенные методы нечеткого вывода, позволяющие упростить данные процедуры и уйти от предметной области. Данным методам присущ следующий недостаток: отсутствие универсального и удобного способа настройки нечетких регуляторов (НР). Поэтому разработка метода настройки НР является актуальной задачей.

Для установления зависимости между параметрами ОУ и параметрами настройки НР было предложено провести статистическое исследование. Для этого в программном пакете MATLAB была написана программа, реализующая перебор параметров ОУ и перебор параметров настройки НР под каждый из ОУ. Производилось моделирование переходного процесса при подаче управляющего воздействия и анализ показателей качества управления. Выделялись лишь монотонные процессы с минимальным временем регулирования. Результатом работы программы является выборка всевозможных ОУ с такими параметрами настройки НР, которые приводят к достижению наилучших показателей качества управления. Выборку было решено использовать для выявления зависимости между параметрами ОУ и параметрами настройки НР.

Зависимость является трудноформализуемой, поэтому для ее установления было решено использовать нейро-нечеткие сети, для чего в соответствующем приложении пакета MATLAB была создана нейронная сеть, обученная по полученной выборке. Входы сети – параметры ОУ, выходы – параметры настройки НР.

Сеть была экспериментально исследована путем подачи на ее вход значений параметров ОУ, которые выбирались таким образом, чтобы не быть равными данным из обучающей выборки. Экспериментальные исследования показали, что параметры НР, рассчитанные обученной сетью обеспечивают лучшие показатели качества управления, чем классические регуляторы. Кроме того, *F*-САУ, намного менее чувствительны к изменениям параметров ОУ.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С МИШЕНЯМИ

К.П. Артёмов<sup>1</sup>, Г.А. Науменко<sup>2</sup>, А.П. Потылицын<sup>2</sup>,  
В.В. Рыжов<sup>1</sup>, Л.Г. Сухих<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН

<sup>2</sup>НИИ ядерной физики, Томский политехнический университет

В работе [1] экспериментально исследован в макроскопическом масштабе эффект «тени» от проводящего и поглощающего экранов в геометрии дифракционного излучения в зависимости от расстояния до экрана и показано, что метод эквивалентных фотонов более приемлем для понимания природы исследуемого явления. Для детального анализа динамики электромагнитного поля нами проведено моделирование взаимодействия сгустка релятивистских электронов с проводящими и поглощающими мишенями с использованием полностью электромагнитного временного кода «KARAT» [2]. Электронный сгусток с числом электронов  $N_e \approx 10^8$  моделировался методом крупных частиц, а его параметры соответствовали пучку микротрона НИИ ЯФ ТПУ [1]. Камера рассеяния, в которой располагались мишени, представляла собой область размерами 40x40 см, ограниченную поглотителем. В процессе расчётов измерялась зависимость углового распределения дифракционного излучения для разного расстояния между экранами.

Моделирование, основанное на численном решении уравнений движения макрочастиц и уравнений Максвелла для напряженностей электрических и магнитных полей, качественно подтверждает эффект «тени» электромагнитного поля для релятивистских электронов, наблюдаемый в эксперименте [1]. Результаты расчётов позволяют оценить «длину зоны формирования излучения».

### Список литературы

1. Макроскопический эффект тени электромагнитного поля релятивистских электронов. Г.А. Науменко, А.П. Потылицын, Л.Г. Сухих, Ю.А. Попов, М.В. Шевелёв. Письма в ЖЭТФ, том 90, вып. 2, с. 105-110.
2. Tarakanov V.P. "User's Manual for Code KARAT".

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА ПО ЕГО РЕАКЦИИ НА ПРОИЗВОЛЬНОЕ ВХОДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Н.С. Криницын, С.А. Байдали, В.Ф. Дядик

Томский политехнический университет

E-mail: ics@sibmail.com

В теории автоматического управления очень важно с высокой точностью знать характеристики объекта управления. Наиболее быстрого и качественного результата при нахождении численных значений статических и динамических характеристик объекта можно достичь, используя экспериментальные (детерминированные) методы идентификации. На практике чаще всего проводят идентификацию по кривой разгона объекта, однако ее получение не всегда возможно на реальном производстве.

Задачей этой работы является разработка метода идентификации объекта управления по его входным и выходным массивам данных. При решении данной задачи использовались принципы временных рядов и свойства статистических функций [1].

Алгоритм разработанной методики идентификации объекта заключается в последовательном выполнении следующих действий:

– Рассчитывается взаимная корреляционная функция входа и выхода объекта, по которой определяется его запаздывание, при этом программа автоматически адаптируется к виду входного сигнала.

– методом, основанным на теории временных рядов, определяется коэффициент усиления и постоянная времени динамической модели объекта;

– методом минимизации невязок реакции разработанной в среде Matlab.Simulink модели с рассчитанными параметрами на реальное входное воздействие и реального выходного сигнала объекта осуществляется оптимизация найденных параметров.

Программа, реализующая данный алгоритм, разработанная в пакете MATLAB. На нее получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Исследования методики выявили погрешность определения параметров объекта, которая составила 4%.

Разработанная методика является универсальной и позволяет идентифицировать параметры промышленных объектов управления с высокой точностью без внесения в производство каких-либо внеплановых воздействий.

### Список литературы

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: МИР, 1974 – 197 с.

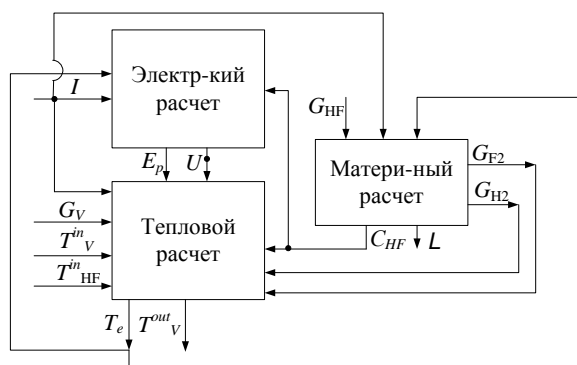
## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА

О.В. Нагайцева, Н.В. Ливенцова, А.В. Белянин

Томский политехнический университет  
e-mail: ola\_ola81@mail.ru

Для овладения эффективным приемам управления технологическими процессами (ТП), а также повышения и поддержки высокого уровня знаний и навыков разрабатывается компьютерный тренажер. Первичной задачей при создании тренажера является разработка модели, имитирующей ТП, протекающие в основных узлах технологической установки производства. Основу установки составляют среднетемпературные электролизеры (СТЭ), что делает ТП, протекающие в них, ключевыми для моделирования.

Настоящая работа посвящена разработке математической модели технологического процесса электрохимического получения фтора в СТЭ для цели компьютерного тренинга. Обобщенная схема моделирования процесса электрохимического получения фтора представлена на следующем рисунке:



Математическая модель состоит из трех функциональных блоков: первый – осуществляет электрический расчет на базе законов Ома для проводников 1-го и 2-го рода и уравнений химической термодинамики и электрохимической кинетики, второй – осуществляет тепловой расчет на базе закона Джоуля, уравнений теплоемкости и теплообмена, третий – осуществляет материальный расчет на основе закона сохранения количества вещества. В настоящее время проводятся численные эксперименты в среде Matlab по исследованию адекватности разработанной модели.

### Список литературы

1. Нагайцева О.В., Ливенцова Н.В., Ливенцов С.Н. Концепция тренажерной модели электрохимического производства // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 315. № 5. С. 89-93.

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ УРАНА

А.А.Чеглоков, А.Д. Истомин, М.Д. Носков

Северский технологический институт НИЯУ «МИФИ»

e-mail: science@ssti.ru.

Эффективность оценки и разработки инфильтрационных месторождений полезных ископаемых в значительной степени зависит от адекватности и полноты используемых моделей геологической среды. Создание таких моделей осуществляется на основе данных геофизического исследования и анализа керна разведочных и технологических скважин. Значительные объемы и разнородность этих данных являются причиной сложности анализа и низкой оперативности работы с ними. Поэтому, целесообразным является использование современных информационных технологий для обработки данных и создания на их основе цифровых моделей геологической среды.

В настоящей работе представлена геологическая геоинформационная система состоящая из нескольких модулей. Модуль «Электронный паспорт скважины» предназначен для ввода, редактирования, интерпретации и визуализации данных по скважине. Модуль «Геотехнологический разрез» предназначен для ввода, редактирования и визуализации данных по геотехнологическому разрезу. Модуль «Расчет геотехнологических и геоэкологических показателей» предназначен для создания геотехнологических полигонов и расчета их параметров. Модуль «Геологическое моделирование» предназначен для создания двух- и трехмерных цифровых моделей геологической среды на основе баз геологических данных. Модуль «Представления и анализа геологических данных» позволяет визуализировать фактические данные, геотехнологические разрезы и цифровые модели природно-антропогенных систем, в виде карт, сечений, разрезов, поверхностей, трехмерных тел, графиков вдоль профиля и т.п. Кроме этого модуль позволяет проводить анализ имеющихся данных (выделять области по заданным критериям, рассчитывать интегральные и средние значения характеристик геологической среды и т.д.). Геологическая геоинформационная система включает в себя СУБД, предназначенную для хранения всего массива данных (исходные, результаты их обработки и интерпретации, цифровые модели и др.), а также обеспечения доступа к ним основе SQL.

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЗОННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ БРИДЖМЕНА

М.М. Филиппов, Ю.В. Бабушкин, В.Г. Гальченко, Г.Е. Шевелев,  
А.И. Грибенюков\*, В.Е. Гинсар\*,

Томский политехнический университет

\*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

При выращивании монокристаллов методом Бриджмена хорошее качество кристаллов достигается, если в технологическом процессе выполняются следующие условия [1]:

– скорость изменения температуры в рабочем объеме не превышает 1 °С/мин для обеспечения допустимого уровня термомеханических напряжений;

– точность регулирования и поддержания температуры в рабочем объеме не хуже 0,1 °С для достижения однородности структурных свойств выращиваемого кристалла.

В работе представлено описание системы автоматического регулирования температурного поля в многозонной термической установке (МТУ), предназначенной для выращивания монокристаллов методом Бриджмена в вертикальном варианте.

Система управления выполнена в виде управляющего вычислительного комплекса (УВК), включающего информационно-измерительную и управляющую системы (ИИС и УС).

ИИС выполняет функции представления максимально возможной информации оператору-технологу.

УС обеспечивает поддержание необходимого температурного поля термической установки и перемещение ампулы с рабочим веществом с заданной скоростью.

По результатам разработки и опытной эксплуатации системы автоматического управления температурным полем МТУ можно сделать следующие выводы:

– система регулирования позволяет отрабатывать влияние внутренних и внешних возмущений и поддерживает в течение всего процесса выращивания кристалла (~ 300 ч) температурное поле термической установки с точностью ~ 0,1 °С;

– фактическая скорость изменения температуры не превышает предельную на всех этапах технологического процесса.

Список литературы

1. Марков А.В. // Известия вузов. Материалы электронной техники. 2006. № 6. С. 16–19.

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РЕГУЛИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НЕПРЕРЫВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПРОИЗВОДСТВА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Т.Х. Бадретдинов  
Томский политехнический университет

На предприятиях ядерного топливного цикла, а также в других отраслях промышленности широко применяются процессы дозирования сыпучих материалов, выполняемые с помощью бункерных устройств. При этом качество выходного продукта во многом определяется точностью дозирования исходных сыпучих материалов. Возникают также проблемы истечения вязких сыпучих материалов из выходного отверстия бункера, обусловленные процессами образования во внутреннем пространстве бункера устойчивых динамических и статических сводов сыпучего материала, а также процессами сегрегации и адгезии. Эти проблемы на предприятиях стараются решать путем частичной модернизации морально и физически устаревших дозаторов. Такое решение не всегда позволяет добиться достижения требуемой точности дозирования.

Детальное изучение технологических процессов дозирования и существующих дозирующих систем показало необходимость разработки автоматического регулирующего устройства весодозирующей системы, которая отвечала бы современным требованиям по точности, надежности и учитывала бы специфику предприятий ядерного топливного цикла. Разработанное автоматическое регулирующее устройство весоизмерительной системы осуществляет непрерывное дозирование, контроль и измерение текущих параметров, формирование инициативных сигналов предупредительной и аварийной сигнализации. Автоматическое регулирующее устройство осуществляет измерение и контроль температуры окружающей среды, поступления сыпучего материала в бункер, влажности сыпучего материала в бункере, а также измерение и регулирование веса дозируемого сыпучего компонента в бункере и на выходе из бункера, скорости движения шнека. Также, при необходимости, автоматическое регулирующее устройство включает механизм ворошителя сыпучего материала в бункере, что устраняет сводообразование в пространстве бункера и налипание материала на стенки бункера и дополнительно приводит к более равномерному фракционному составу сыпучего материала. Предлагаемое устройство с запланированной производительностью непрерывного дозирования сыпучего материала 1000 кг/час и погрешностью весодозирования не более 1% обеспечивает равномерность истечения сыпучего материала из бункера в весовом измерении с погрешностью не более 1%, что отвечает требованиям производства ядерного топливного цикла.

## УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ УРАНА В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ НА БАЗЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т

Т.Х. Бадретдинов  
Томский политехнический университет  
E-mail: tahir@phtd.tpu.ru

К числу наиболее эффективных методов нейтронно-активационного анализа геологических объектов безусловно принадлежит метод определения содержаний урана по запаздывающим нейтронам. Детальные исследования распределений урана в осадочных породах нефтегазоносных отложений могут дать важную информацию для правильного понимания геологических процессов нефтяных залежей.

Регистрация запаздывающих нейтронов – весьма специфичный метод идентификации вещества, так как нейтроны сравнительно легко можно регистрировать в присутствии достаточно интенсивного фона, создаваемого бета- и гамма-излучениями образца, а малый период полураспада изотопов-предшественников запаздывающих нейтронов позволяют реализовать его как исключительно точный и экспрессный метод измерения содержаний делящихся элементов в геологических объектах. Использование для активации геологических образцов нейтронов исследовательских ядерных реакторов позволяет достигнуть чувствительности 10<sup>-6</sup> % при массе исследуемого образца равной 5г.

Аналитический измерительный комплекс, реализующий метод запаздывающих нейтронов, эксплуатируется на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т и представляет собой пневмотранспортное устройство с позициями облучения, выдержки и измерения. Регистрация запаздывающих нейтронов осуществляется 20 счетчиками типа СНМ-11, имеющими низкую чувствительность к гамма-излучению образцов. Счетчики СНМ-11 расположены в полиэтиленовом замедлителе вокруг центральной оси позиции измерения в два кольца. Однако, эксплуатация измерительного комплекса показала, что в условиях жесткого гамма-излучения вследствие разброса технических характеристик счетчики СНМ-11 предрасположены к самовозбуждению и дают на выходе неинформативный шум очень высокой частоты. Предлагается ввести в состав позиции измерения двадцатиканальный счетчик с функцией контроля на аппаратно-программном уровне и визуализацией оператором каждого канала измерения и, при необходимости, с автоматическим пересчетом измерений счетчиков СНМ-11. Такая коррекция позволит повысить достоверность и надежность результатов измерений, еще более уменьшит стоимость измерений, так как не будет необходимости проведения повторных облучения и измерения.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ В ПАКЕТЕ COMSOL MULTIPHYSICS

А.С. Огородников

Томский политехнический университет

E-mail: ogorodnikov@sibmail.com

Известно, что магнитные поля с успехом применяются для удержания плазмы и фокусировки пучков заряженных частиц. Однако при наличии неоднородности плазмы и магнитного поля в плазме могут возникать диамагнитные токи, приводящие к искажению внешнего магнитного поля. Последнее необходимо учитывать при создании приборов и установок с использованием замагниченной плазмы. В частности, этот эффект может существенно повлиять на процессы, связанные с транспортировкой пучков заряженных частиц в плазменных и газовых средах. Поэтому важно оценить влияние этого эффекта на искажение внешнего магнитного поля в зависимости от параметров плазмы и уровня и градиента внешнего магнитного поля. Эта задача сводится к решению системы нелинейных уравнений в частных производных и для ее решения применяется система компьютерной математики COMSOL Multiphysics. В качестве расчётной выбиралась аксиально-симметричная область в цилиндрической системе координат, которая соответствует типичным системам транспортировки электронных пучков в плазменных каналах. Результаты моделирования показывают, что плотность тока намагниченности, при концентрации плазмы в приосевой области, возрастает на порядок по сравнению с однородным заполнением трубы дрейфа; продольная составляющая магнитной индукции зависит от давления: уменьшается на величину до 12 %, уменьшение зависит от вида функции радиального распределения давления плазмы; радиальная составляющая магнитной индукции также зависит от давления: уменьшается до двух раз вдоль трубы дрейфа с ростом давления от 1 до 6000 Па на оси системы.

Выполнено моделирование в пакете COMSOL Multiphysics управляющего электромагнитного поля бетатрона, которое формируется и возбуждается одновитковой обмоткой, выполненной в виде двух концентрически расположенных медных колец. В совокупности с изоляционными уплотнителями эти кольца одновременно выполняют функцию ускорительной камеры. Расчёты показывают, что в предлагаемой системе возможно формирование магнитного поля бетатронного типа, а показателем спада магнитного поля можно управлять, меняя кривизну профиля витков, а также изменяя толщину их фланцев.



## ЛАБОРАТОРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА «ХИМИК-АНАЛИТИК» НА АТОМНОЙ СТАНЦИИ С ВОДНО- ВОДЯНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ КАК ТИПОВОЕ ПРОЕКТНОЕ РЕШЕНИЕ

Е.С. Арестова<sup>1</sup>, В.А. Брюханов<sup>2</sup>, С.А. Галкин<sup>2</sup>, М.Ю. Ткачева<sup>1</sup>, А.Г. Терещенко<sup>1</sup>, В.А. Терещенко<sup>1</sup>, Р.Н. Сандаков<sup>2</sup>, А.С. Сафьянов<sup>1</sup>, А.Л. Юнак<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ТПУ, НИИ ВН  
<sup>2</sup>Балаковская АЭС

Выделены и рассматриваются подходы и особенности реализации задач автоматизации бизнес-процессов химико-аналитических служб атомных станций на примере адаптации ЛИУС «Химик-Аналитик» для Балаковской АЭС. Адаптированный «прототип» ЛИУС является основой «пилотного проекта» для реализации на его основе типовых проектных решений

### Список литературы

1. Всероссийская школа-семинар. «Лабораторные информационные системы: их роль в обеспечении требований стандартов и контроля качества измерений»: сборник трудов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, - 2008.-167с.

2. Шукайлов М.И., Руденко Т.М., Никифорова В.Ю., Терещенко А.Г. Смышляева Е.А. Опыт внедрения ЛИС «Химик-аналитик» в химических лабораториях филиалов ОАО «Красноярская генерация» //Энергетик. 2006, №8. С. 36-38.

3. Коробова Н.В., Терещенко В.А. Из опыта реализации требований ГОСТ Р ИСО 17025-2000 в химической лаборатории Сосновоборской ТЭЦ с помощью ЛИС/ЛИУС "Химик-аналитик"// Методы оценки соответствия. 2007, № 5. С.33-35.

4. Терещенко А.Г., Терещенко В.А., Янин А.М., Толстихина Т.В., Терещенко О.В. ЛИУС "Химик-аналитик" – перспективный инструмент контроля и управления водно-химическим режимом на АЭС // Сб. тезисов 7-го Международного научно-технического совещания «Водно-химический режим АЭС», (ВНИИАЭС, 17-19 октября 2006г.) М.:ВНИИАЭС, 2006.- С.55.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т.С. Теровская, А.Г. Кеслер, М.Д. Носков

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

В атомной промышленности в качестве базового сырья используется природный уран. В связи с развитием атомной энергетики количество необходимого урана постоянно возрастает, следовательно, актуален вопрос об экономичном и экологичном способе добычи урана. Метод скважинного подземного выщелачивания (СПВ) является эффективным способом добычи урана, который в настоящее время активно используется и развивается. По сравнению с традиционными подземными и открытыми горными способами, разработка месторождений полезных ископаемых методом СПВ приводит к меньшему воздействию на окружающую среду. В процессе СПВ не образуются отвалы пород и хвостохранилища, не нарушается целостность геологических структур, практически отсутствует загрязнение воздушного бассейна. Однако при СПВ происходит загрязнение подземных вод рабочими химическими реагентами, а также веществами, образующимися в результате взаимодействия выщелачивающего раствора с породой. [1].

Несмотря на возможность самостоятельного восстановления продуктивного горизонта, в некоторых случаях целесообразно поводить рекультивацию подземных вод. Одним из методов рекультивации является откачка загрязненных растворов до достижения в продуктивном пласте концентраций загрязняющих компонентов значений ниже ПДК. Для оценки воздействия СПВ на окружающую среду и выработки оптимальных мер по рекультивации подземных вод целесообразно применять компьютерное моделирование. Исходя из этого, при выработке методики проведения процесса рекультивации было использовано проблемно-ориентированное программное обеспечение, способное описывать различные гидродинамические и физико-химические процессы, происходящие в подземном горизонте при СПВ и после его завершения. Методика основана на включении после завершения СПВ скважин расположенных в направлении течения подземных вод. Представлены карты распределения основных загрязняющих компонентов, зависимости концентраций урана, серной кислоты, сульфат иона во времени, данные о количествах откаченных растворов, времени проведения процесса рекультивации и др. Приведены основные выводы и рекомендации.

### Список литературы

1. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиозащиты: учебное пособие. – Томск: СТУ, 2009. –359с.