



«ИННОВАЦИИ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ»

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ,
посвященная 80-летию атомной промышленности**

15-19 декабря 2025 г.

Материалы конференции

Северск 2025

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГАОУ ВО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»**

СЕВЕРСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ИННОВАЦИИ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

**Всероссийская научно-практическая конференция
студентов, аспирантов и молодых ученых,
посвященная 80-летию атомной промышленности
15-19 декабря 2025 г.**

Материалы конференции

УДК 621.039
И 665

Инновации в атомной отрасли: проблемы и решения: всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 80-летию атомной промышленности, 15-19 декабря 2025 г.: материалы конференции/ Министерство науки и высшего образования РФ, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт - филиал НИЯУ МИФИ (СТИ НИЯУ МИФИ); под редакцией М.Д. Носкова. – Северск: Издательство СТИ НИЯУ МИФИ, 2025. – 87 с. – Текст (визуальный): электронный

ISBN 978-5-93915-142-9

Сборник включает материалы конференции «Инновации в атомной отрасли: проблемы и решения». Приводятся научные и практические результаты исследований, связанных с проблемами развития атомного энергопромышленного комплекса, включая вопросы совершенствования химической технологии, оборудования и технологий ядерной отрасли, автоматизации и цифровизации технологических процессов и объектов.

Для студентов, аспирантов соответствующих специальностей и молодых ученых.

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

ISBN 978-5-93915-142-9

© Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, 2025

Уважаемые участники конференции!

В 2025 году исполнилось 80 лет со дня основания атомной промышленности России. Атомная отрасль создала и поддерживает ядерный щит Родины, обеспечивает страну энергией, развивает отечественные науку и технологии. Все эти годы Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» был напрямую связан с атомным проектом. В настоящее время ядерный университет «МИФИ» представляет собой уникальный сетевой регионально-распределенный научно-образовательный комплекс, расположенного во всех регионах присутствия Госкорпорации «Росатом». В Сибирском федеральном округе достойным представителем университета является Северский технологический институт. Институт был образован в 1959 году по ходатайству предприятия п/я 153 (ныне Сибирский химический комбинат, АО «СХК») в целях приближения и расширения подготовки инженерных кадров и специалистов к объектам атомной промышленности. Практически с момента основания в институте стали проводиться научные работы в интересах развивающегося предприятия. В настоящее время в институте выполняются исследования в области совершенствования ядерно-химических технологий, математического моделирования и информатизации процессов и производств атомной отрасли.

В рамках конференции будут обсуждаться актуальные проблемы развития атомного энергопромышленного комплекса, включая вопросы совершенствования химической технологии, автоматизации технологических процессов, моделирования и информатизации технологий и объектов в атомной отрасли. Целью конференции является содействие инновационно-техническому развитию атомной отрасли и внедрение результатов научных исследований в производство, а также совершенствование подготовки специалистов и кадров высшей квалификации для ГК «Росатом». В конференции принимают участие молодые ученые, аспиранты и студенты вузов, а также специалисты предприятий атомной промышленности.

Данный сборник будет способствовать профессиональному росту участников конференции, налаживанию делового сотрудничества и развитию творческих связей ученых и специалистов, работающих в атомной промышленности.

Председатель редакционной коллегии,
доктор физико-математических наук,
профессор, Заслуженный работник высшей
школы Российской Федерации

М.Д. Носков

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Секция Материалы и технологии атомного энергопромышленного комплекса</i>	12
<i>Агеева Л.Д., Склярова К.Н., Кискина А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОЙ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЖИДКИХ И СЫПУЧИХ ПРОБ ПРИ ПОМОЩИ ПРИБОРА WEPER EDXRF 2510 SPECTROMETER</i>	13
<i>Анкипович Е.И., Ворожейкин С.Е., Ожерельев О.А. РАЗРАБОТКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЧИСТКИ ТУГОПЛАВКИХ ФТОРИДОВ</i>	14
<i>Аранжсин Д.А., Маркелова Д.В., Гузеева Т.И., Зеличенко Е.А. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТАВОВ КОСТНОЗАМЕЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ</i>	15
<i>Бурмистрова А.А., Семенычева А.Н., Ожерельев О.А. ОЧИСТКА ФТОРИДОВ МЕТОДОМ СУБЛИМАЦИИ</i>	16
<i>Буткеева М.А., Роскош Е.С., Муслимова А.В., Молоков П.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ НИТРАТА ПРАЗЕОДИМА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТЫ РАВНОВЕСИЯ</i>	17
<i>Денисов Е.С., Захарова П.Т., Молоков П.Б., Ченцов Ф.А. РАЗРАБОТКА ХЕМОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРАХ</i>	18
<i>Дубинин В.С., Софронов В.Л. ПРОЦЕСС ЭКСТРАКЦИИ-РЕЭКСТРАКЦИИ МОДУЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКОСОЛЕВОГО РЕАКТОРА</i>	19
<i>Дяденис М.Ю., Зеличенко Е.А., Охотникова Е.П., Чубенко Я.Б., Гузеева Т.И. МИКРОПЛАЗМЕННОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫХ ИЗДЕЛИЯХ</i>	20

<i>Жабина А.М., Сарапова С.Ю., Кикенина И.К., Михалёв Р.Ю., Грачев Е.К.</i> СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЗЭ И ЖЕЛЕЗА В ПРОДУКТАХ РЕЦИКЛИРОВАНИЯ МАГНИТОВ СИСТЕМЫ $Nd_2Fe_{14}V$	21
<i>Захарова П.Т., Денисов Е.С., Ченцов Ф.А., Молоков П.Б.</i> АНАЛИЗ ГАЗООБРАЗНОГО ХЛОРА МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ.....	22
<i>Илекис В.М., Молоков П.Б.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТОДАМИ ХЕМОМЕТРИКИ.....	23
<i>Каширин Д.А., Дубинин В.С., Софронов В.Л.</i> ОЧИСТКА ВИСМУТА МОДУЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКОСОЛЕВОГО РЕАКТОРА	24
<i>Копылов М.Ю., Панфилова М.В.</i> УТИЛИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ.....	25
<i>Кравченко Е.В., Чубенко Я.Б., Зеличенко Е.А., Гузеев В.В., Муслимова А.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ХИТОЗАНСОДЕРЖАЩЕГО ГРАНУЛИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА.....	26
<i>Лялина Н.А., Житков С.А., Ткачук С.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОКСОВЫХ АНОДОВ	27
<i>Маркелова Д.В., Аранжин Д. А., Зеличенко Е.А., Гузеева Т.И., Чубенко Я.Б.</i> РАЗРАБОТКА КОСТНОЗАМЕЩАЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ.....	28
<i>Михалев Р.Ю., Кикенина И.К., Широков А.В., Саулов К.А., Грачев Е.К.</i> СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СУММЫ РЗМ ИЗ ОТРАБОТАВШИХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ $Nd_2Fe_{14}V$	29
<i>Нижегородов Д.С., Антипов В.А., Грачев Е.К.</i> СОРБЦИОННАЯ ПЕРЕРАБОТКА НЕРЕЦИКЛИРУЕМЫХ СКРАПОВ СМЕШАННОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА.....	30
<i>Охотникова Е.П., Гузеева Т.И., Дяденис М.Ю., Зеличенко Е.А.</i> СИНТЕЗ ВОДОРАСТВОРИМОГО ХИТОЗАНА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАНОЗАЖИВЛЯЮЩИХ КОМПОЗИТОВ.....	31

<i>Петренко А.Ю., Смолкин П.А.</i> РАЗРАБОТКА ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКАРБОНФТОРИДОВ.....	32
<i>Погоньшев Д.С., Набокин А.О., Мельник М.А., Винныйчук В.А.</i> СНЯТИЕ ПОСЛЕ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВИБРАЦИОННЫМ МЕТОДОМ.....	33
<i>Саулов К.А., Кикенина И.К., Михалёв Р.Ю., Широков А.В., Грачев Е.К.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ СУММЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПУТЁМ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ ПРОДУКТОВ РЕЦИКЛИРОВАНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ИЗДЕЛИЙ	34
<i>Саулов К.А., Ложкомоев А.С., Казанцев С.О., Земляков Д.И.</i> АДсорбция красителей и соединений мышьяка на модифицированных стекловолокнах	35
<i>Симонов Е.С., Иванов М.Л., Иванов К.А.</i> ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕЩЕСТВА С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОМЕТРИИ	36
<i>Тараненко Д.А., Ткачук С.А., Житков С.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ АНОДА НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА.....	37
<i>Федотова М.А., Винныйчук В.А.</i> ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ.....	38
<i>Ченцов Ф.А., Молоков П.Б.</i> КОНЦЕПЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛЕНТНЫХ ФОРМ И КОНЦЕНТРАЦИЙ АКТИНИДОВ В АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ МОДУЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ	39
<i>Чечельницкий М.Д., Молоков П.Б.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕЛЕЗА И ХРОМА НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТВОРАХ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА И ЧАСТИЧНЫХ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ (PLS)	40
<i>Широков А.В., Кикенина И.К., Михалёв Р.Ю., Грачев Е.К.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ РЕЦИКЛИРОВАНИЯ МАГНИТОВ СИСТЕМЫ Nd ₂ Fe ₁₄ B.....	41

<i>Секция Техническая кибернетика. Моделирование и информатизация технологий и объектов атомной отрасли</i>	<i>42</i>
<i>Акрамов Д.Х. ПРОЕКТ «АТОМГРАД: СВЯЗЬ ПОКОЛЕНИЙ»: ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ТРУДОВЫХ ЦЕННОСТЕЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ МОЛОДЁЖИ</i>	<i>43</i>
<i>Акрамов Д.Х., Кунавин Е.А. ВИРТУАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ БЕЗОПАСНОСТИ: ИНТЕРАКТИВНАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ.....</i>	<i>44</i>
<i>Березин А.А., Носков М.Д. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОМОЩНИК ДЛЯ АНАЛИЗА ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ПЛАНОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧНОГО ПОЛИГОНА СПВ УРАНА.....</i>	<i>45</i>
<i>Березин А.А., Носков М.Д., Чеглоков А.А. WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ПЛАНОВЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ РАБОТЫ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ</i>	<i>46</i>
<i>Буткеев К.А., Косов П.А., Иванов К.А. РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ШКАФА ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКЕ ДЛЯ ПРОФОРИЕНТАЦИИ.....</i>	<i>47</i>
<i>Бушуев С.Д., Иванов К.А., Троценко В.П. РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ СВЧ-ТРАКТА ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ</i>	<i>48</i>
<i>Григорьев Д.А., Носков М.Д. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОМПРЕССОРА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ И МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ</i>	<i>49</i>
<i>Иванов К.А., Блюдов Д.А. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНЕРТНОЙ СРЕДЫ В БОКСАХ С АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЕМ</i>	<i>50</i>

<i>Иванов К.А., Мишин К.С.</i> РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕРАТИВНЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ.....	51
<i>Иванов К.А., Леонович И.А., Прокопенков А.П.</i> КОНСТРУИРОВАНИЕ И ВОПЛОЩЕНИЕ МАЛОМАСШТАБНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ХРАНИЛИЩА.....	52
<i>Иванов К.А., Щербина В.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОМПТ-ИНЖИНИРИНГА В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ.....	53
<i>Коробейников Е.А., Носков М.Д.</i> СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ, ОСНОВАННАЯ НА РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОМ ПОДХОДЕ.....	54
<i>Кошкин В.А., Залевский А.О.</i> РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ	55
<i>Кулеш Ю.О., Щипков А.А., Глазырин А.С., Боловин Е.В., Беляускене Е.А., Языков Н.Е.</i> ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КВАДРАТИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ СТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ	56
<i>Мерзляков К.А., Карташов Е.Ю.</i> ОБОСНОВАНИЕ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА С КАРБИДНЫМ ТОПЛИВОМ И НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ.....	57
<i>Мехряков И.К., Носков М.Д.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРОЦЕСС ДЕГРАДАЦИИ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ	58
<i>Михеева К.Н., Копейкин А.Э., Сарлейский А.В.</i> СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ОБЪЕКТА НА БАЗЕ IOT-ТЕХНОЛОГИЙ	59

<i>Палашков И.И., Иванов К.А.</i> МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ИННОВАЦИЙ НА ПРИМЕРЕ МАШИНЫ ВЕРОЯТНОСТЕЙ	60
<i>Пастухов А.М., Рубцов И.А.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ГРАНУЛЯТА ДЛЯ МИМ-ТЕХНОЛОГИИ	61
<i>Сташков В.П., Троценко В.П.</i> ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД УЧЁТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	62
<i>Троценко В.П., Иванов М.Л., Иванов К.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА СЫПУЧЕЙ СМЕСИ В ПРОИЗВОДСТВЕ	63
<i>Чаплинский Е.Ю., Иванов К.А.</i> РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОТОКОЛИРОВАНИЯ СОВЕЩАНИЙ	64
<i>Секция Оборудование и технологии атомной промышленности</i>	65
<i>Березников С.А., Бритвин Н.И.</i> РЕАКТОР НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ – БУДУЩЕЕ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..	66
<i>Воробьева Е.С., Софронов В.Л.</i> ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПЕЧИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	67
<i>Воронин С.Ю., Хахалев М.С.</i> МЕТОДЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	68
<i>Залевский А.О., Иванов К.А.</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА ОТЛОЖЕНИЙ ДИОКСИДОВ УРАНА В ПЕРЧАТОЧНЫХ БОКСАХ.....	69
<i>Копейкин А.Э., Михеева К.Н., Сарлейский А.В.</i> МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОТОЧНОГО ЗАХВАТА ГЕОМЕТРИИ ОБЪЕКТОВ И ПРОСТРАНСТВ.....	70

<i>Купри А.А., Смирнов М.А., Грачев Е.К.</i> РЕАБИЛИТАЦИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ, ВЫВОДИМЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ	71
<i>Максимов Д.С.</i> ТЕХНОЛОГИИ МОДУЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА: ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ	72
<i>Мамонтов А.А., Иванов М.Л.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ.....	73
<i>Наумов В.А., Грачев Е.К.</i> БАРЬЕРНО-ГЛИНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ОСОБЕННОСТИ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНО РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ	74
<i>Нерадовский В.А., Панфилова М.В.</i> ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА	75
<i>Неустроев Д.А.</i> НОВЫЙ СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОНДЕНСАТОРА АЭС	76
<i>Орловский А.Е., Жабина А.М.</i> УТИЛИЗАЦИЯ ТВЁРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ (ТРО) МЕТОДОМ ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ	77
<i>Пытин А.О., Гридневский К.И., Хисматулин Н.С., Грачев Е.К.</i> АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И НОРМАТИВНЫХ БАЗ ДЛЯ ОСВОБОЖДЕНИЯ ОТ РЕГУЛИРУЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СЛАБОЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ.....	78
<i>Рубцов И.А., Пастухов А.М.</i> СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ	79
<i>Сарлейский А.В., Копейкин А.Э., Михеева К.Н.</i> ПОСТРОЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО ГЕОМЕТРИИ ЛИЦА С ПРИВЯЗКОЙ К ЦИФРОВОМУ ПРОФИЛЮ	80
<i>Серебрянников А.А., Карташов Е.Ю., Пилипенко А.М.</i> РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ УЗКОНАПРАВЛЕННЫХ ЗАДАЧ	81

<i>Скоц А.В., Грачев Е.К.</i> АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУГР АД И АДЭ – 1 НА ФГУП «ГХК».....	82
<i>Татарина С.А., Карташов, Е.Ю.</i> РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНО И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ	83
<i>Ткачук С.Р., Сорокин Р.И., Грачев Е.К.</i> МАЛЫЕ МОДУЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ (SMR). АНАЛИЗ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ SMR.....	84
<i>Федотова М. А., Винныйчук В.А.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ WAAM В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ.....	85
<i>Яковьюк Е.О., Зарипова Л.Ф.</i> ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ДЕЗАКТИВАЦИЯ АЛЮМОСОДЕРЖАЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ	86

*Секция
Материалы и технологии атомного
энергпромышленного комплекса*

Агеева Л.Д., Склярова К.Н., Кискина А.А

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОЙ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ
СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЖИДКИХ И СЫПУЧИХ
ПРОБ ПРИ ПОМОЩИ ПРИБОРА WEPER EDXRF 2510
SPECTROMETER**

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: kristina.sklyarova.04@mail.ru*

Энергодисперсионная рентгенофлуоресцентная спектрометрия (EDXRF) является одним из наиболее востребованных методов оперативного и неразрушающего элементного анализа широкого спектра объектов [1]. В последние годы на российском рынке активно внедряются спектрометры нового поколения, такие как настольный комплекс WEPER EDXRF 2510.

Актуальность использования подобных приборов в учебных, производственных и надзор-аналитических лабораториях [2] связана с задачами экспресс-скрининга и входного контроля. Однако на практике часто наблюдается значительный разрыв между заявленными в технической документации возможностями и реальной аналитической эффективностью прибора в руках конечного пользователя.

В рамках исследования проводится изучение факторов, ограничивающих чувствительность EDXRF-анализа, в частности при работе с водными растворами. Основное внимание уделяется оценке достижимости количественного определения тяжёлых металлов в жидкостях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев А.С. и др. Определение тяжелых металлов в почвах... // Журн. анал. химии. 2021.
2. Смирнов П.А. Разработка методики экспресс-контроля...: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Горный ун-т, 2022.

Анкипович Е.И., Ворожейкин С.Е., Ожерельев О.А.

РАЗРАБОТКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЧИСТКИ ТУГОПЛАВКИХ ФТОРИДОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: steff042003@mail.ru*

Фторидная технология переработки циркона – это один из вариантов, который может конкурировать с хлоридным и содово-экстракционным методами. Фториды циркония, гафния и титана необходимы для ГК Росатом, чтобы поддерживать технологический суверенитет РФ. Цирконий и гафний активно используются в атомной энергетике, а титан является конструкционным материалом и применяется как в чистом виде, так и в качестве легирующих добавок. Например, в 3-ем квартале 2025 г на ПАО ЧМЗ, г. Глазов запущена технологическая линия получения ОСЧ порошка оксинитрата циркония, важного компонента катализаторов нефтехимии, сырья для производства диоксида циркония и востребованного российским рынком реактива.

Оценку эффективности сублимационной очистки тетрафторида циркония предлагается проводить с использованием физико-химической модели процесса, основанной на термодинамическом расчете с последующим применением всей накопленной базы данных. В физико-химическую модель заложены данные по микро- и макрокинетике сублимационной очистки, а также протекающим при сублимации поверхностным процессам, которые получены в результате проведенных ранее исследований. Модель систематизирует базу данных по решению некоторых фундаментальных научных задач по механизму очистки фторидов тугоплавких металлов и одновременно имеет ярко выраженный прикладной технический характер. Химико-технологическая модель состоит из четырех основных составляющих: физико-химическая модель процесса сублимационной очистки; аппаратурно-технологическая модель; аналитическая модель; справочные и практические приложения

В рамках работы были выполнены экономические расчеты, подтверждающие экономическую обоснованность применения предложенной модели и вариантов аппаратурно-технологических решений.

Аранжин Д.А., Маркелова Д.В., Гузеева Т.И., Зеличенко Е.А.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТАВОВ КОСТНОЗАМЕЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: aranzhin03@bk.ru*

Разработка эффективных костнозамещающих материалов является одной из главных задач современной реконструктивной хирургии. Рост травматизма, онкологических заболеваний и необходимость устранения врожденных дефектов костной ткани требуют создания биосовместимых и функциональных имплантатов.

Аддитивные технологии предоставляют перспективные возможности для изготовления индивидуализированных имплантатов, полностью соответствующих анатомическим особенностям конкретного человека.

Гидроксипатит (ГА) является основой минеральной составляющей костей и зубов. В медицине ГА широко применяется как наполнитель, замещающий часть утерянной кости. Материал обладает антисептическими, ранозаживляющими, гемостатическими и остеоиндуктивными свойствами.

Включение полимерных компонентов в композиционные материалы на основе ГА позволяет существенно улучшить функциональные характеристики биоимплантатов. ГА, обеспечивая osteoconductive и биоактивность, характеризуется высокой хрупкостью, что ограничивает его применение в нагрузочных участках. Введение биodegradable материалов, таких как поликапролактон и полилактид, позволяют повысить ударную вязкость и упругость композита, приблизив его механические свойства к характеристикам натуральной костной ткани, однако при деполимеризации эти полимеры создают избыточную концентрацию молочной кислоты в организме. Альтернатива - замена их биополимерами.

Существует три основных метода 3d-печати биоимплантатов на основе ГА: лазерная стереолитография, экструзионное формование, селективное лазерное спекание.

Для определения наиболее эффективного метода 3d-печати биоимплантатов на основе ГА в докладе будут представлены условия и результаты эксперимента.

Бурмистрова А.А., Семенычева А.Н., Ожерельев О.А.

ОЧИСТКА ФТОРИДОВ МЕТОДОМ СУБЛИМАЦИИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: alicabazilio@gmail.com*

Актуальность данной темы заключается в получении чистых фторидов для последующей их переработки.

Целью данного исследования является рассмотрение процесса очистки фторидов с помощью метода сублимации.

Получение чистых тетрафторидов Ti, Zr, Hf представляет комплексную задачу, которая включает в себя разделение от 3d-переходных металлов, аппаратурное оформление в промышленном варианте, а также создание надежного аналитического контроля за содержанием примесей.

Сублимационная очистка является достаточно эффективным методом удаления примесей из фторидов. Такая безводная переработка фторидов имеет ряд преимуществ перед содово-экстракционной и хлоридной технологиями, так как может быть использована для получения высокочистых фторидов.

Очистка тетрафторида циркония от тетрафторида гафния имеет немаловажное значение, так как цирконий, содержащий не более 0,01–0,05 мас. % гафния требуется для применения в ядерной энергетике. Очистку можно осуществлять как многократной вакуумной сублимацией тетрафторидов, так и сублимацией тетрафторидов в присутствии активных добавок. В первом случае для очистки циркония от гафния до ядерной чистоты требуется проведение 10–12 циклов сублимации, во втором – до 8 циклов.

Очистка фтораммонийного комплекса титана напрямую зависит от условий сублимации. Процесс сублимации гексафторотитаната аммония наиболее эффективно протекает при температуре 650–700° С и толщине насыпного слоя 50 мм при этом скорость сублимации практически совпадает и дальнейшее повышение температуры для увеличения скорости испарения практически не имеет смысла.

Подводя итоги, сублимационная очистка - эффективный метод отделения фторидов РЗМ от примесей, однако для увеличения эффективности процесса важно учитывать наличие активных добавок, строгое соблюдение условий температурного режима, давления и инертной среды. Выбор основного аппарата так же играет важную роль так как он должен обеспечивать максимальную степень сублимации при минимальном времени пребывания в аппарате.

Буткеева М.А., Роскош Е.С., Муслимова А.В., Молоков П.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ НИТРАТА ПРАЗЕОДИМА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТЫ РАВНОВЕСИЯ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: mariamasur23@gmail.com*

В настоящее время редкоземельные металлы широко используются в современной промышленности. Главными сферами применения РЗМ являются: выпуск магнитов (22% от объема потребления РЗМ), различных конструкционных материалов (около 19%), современных катализаторов для нефтехимии (18%), а также – высококачественной оптики и стекла, и приборов на их основе (около 15%).

Для получения отдельных РЗМ экстракционный метод активно используется в промышленной практике. Сущность процесса основана на извлечении вещества из водной жидкой фазы в органическую.

Коэффициент распределения – основной параметр экстракционного процесса, определяющийся отношением концентрации экстрагирующегося вещества в органической фазе к концентрации вещества в водной фазе после того, как наступило равновесие.

В работе [1] авторы показывают, что в слабокислой среде при любой концентрации ТБФ экстракция макроконцентраций РЗМ протекает с образованием трисольвата, тетрасольвата и гидратосольвата, при этом преобладающее взаимодействие является образованием трисольвата и гидросольвата.

Для определения концентрационной константы равновесия в нашей работе применяется метод сдвига равновесия концентрации ТБФ, что позволяет определить сольватное число и предположить наличие или отсутствие сольватов различного строения.

В докладе будут более подробно представлены условия проведения эксперимента и его результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузиков Е. А. и др. Описание экстракции нитратов редкоземельных элементов из слабокислых растворов концентрированными растворами трибутилфосфата //Радиохимия. – 2019. – Т. 61. – №. 4. – С. 324-333.

Денисов Е.С., Захарова П.Т., Молоков П.Б., Ченцов Ф.А.

РАЗРАБОТКА ХЕМОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРАХ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: denisowegor2003@mail.ru*

Создание экспресс-методов анализа валентных форм актинидов для применения в контроле процессов переработки ОЯТ в ЗЯТЦ сдерживается сложностью и длительностью существующих методов. Перспективным решением является комбинация спектрофотометрии и хемометрики, позволяющая проводить анализ без трудоёмкой пробоподготовки. Для отработки этого подхода в качестве модельной системы были выбраны переходные металлы, спектры которых, подобно спектрам актинидов, сильно перекрываются. Поэтому разработка хемометрических моделей для многокомпонентных растворов переходных металлов представляет собой критически важный этап исследований.

В работе научной группой СТИ НИЯУ МИФИ для решения поставленной задачи были созданы и программно реализованы следующие модели: две регрессионные (PLS) для количественного определения и одна классификационная (SIMCA) для выбора модели по спектру неизвестного раствора. В качестве модельных компонентов использовали ионы кобальта, никеля и хрома.

Для анализа спектральных данных при построении регрессионных моделей использовались методы частичных наименьших квадратов (PLS) и метод разрешения многомерных кривых (MCR). Для создания классификационной модели применяли метод главных компонент (PCA) для уменьшения размерности данных и алгоритм SIMCA. Программная реализация проводилась на языке R с использованием пакетов stats, pls и mdatools.

Для оценки точности разработанных PLS-моделей были проанализированы модельные растворы кобальта (3,75 г/дм³) и никеля (1,25 г/дм³). Было установлено, что погрешность PLS-расчёта, использующего весь спектр, составила $\delta=0,012\%$ (Co) и $\delta=0,096\%$ (Ni), что на порядок точнее классического расчёта по закону Бугера-Ламберта-Бера на одной длине волны ($\delta=2,93\%$ и $\delta=1,6\%$ соответственно). Это подтверждает существенное преимущество многомерной калибровки для анализа сложных смесей.

Дубинин В.С.^{1,2} Софронов В.Л.¹

ПРОЦЕСС ЭКСТРАКЦИИ-РЕЭКСТРАКЦИИ МОДУЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКОСОЛЕВОГО РЕАКТОРА

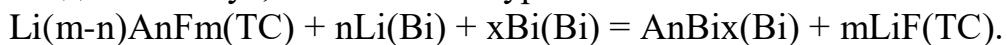
*¹Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томская обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: dubinin@nuclearcask.ru, VLSoifronov@terphi.ru*

*²ООО «Корпорация по Ядерным Контейнерам»,
123060, г. Москва, ул. Маршала Мерецкова 3*

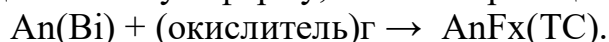
Для масштабного развития ядерной энергетики необходим комплексный подход: создание экономичных и безопасных реакторов нового поколения должно сопровождаться эффективной технологией переработки ОЯТ. Эта технология должна обеспечивать замыкание ядерного топливного цикла по делящимся материалам (ДМ) и извлечение продуктов деления (ПД).

Перспективным направлением является сжигание актиноидов в жидкосолевых реакторах (ЖСР) с циркулирующим фторидным топливом и активной зоной полостного типа. Оптимальным составом топливной соли (ТС) считается система LiF-BeF₂-AnFn, где в качестве топливных компонентов выступают фториды актиноидов. Для очистки ТС данного состава предлагается использовать процесс восстановительной экстракции в жидкий висмут, содержащий растворенный литий в качестве восстановителя. Основные операции, проводимые на данном этапе [1]: экстракция циркония и продуктов коррозии; экстракция актиноидов и части лантаноидов; экстракция лантаноидов и остатков актиноидов.

Химические реакции, протекающие при экстракции актиноидов из ТС в жидкий висмут, описываются уравнением:



Для возврата актиноидов в состав очищенной системы LiF-BeF₂ применяют процесс реэкстракции, заключающегося в контролируемом окислении системы «висмут-соль». В качестве окислителя наиболее предпочтительным является применение Fг или HFг. Это приводит к переводу актиноидов в ионную форму, согласно реакции:



ЛИТЕРАТУРА

1. Р.Я. Закиров, В.В. Игнатьев «Топливный цикл ЖСР-сжигателя трансурановых элементов на основе расплава LiF-BeF₂» // Журнал «Вопросы атомной науки и техники», выпуск 2. г. Москва, 2022 г. – с. 38 – 47.

*Дяденис М.Ю., Зеличенко Е.А., Охотникова Е.П., Чубенко Я.Б.,
Гузеева Т.И.*

МИКРОПЛАЗМЕННОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫХ ИЗДЕЛИЯХ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: mariyanadyadenis@gmail.com*

В настоящее время нет общепринятых теорий и механизмов процессов микроплазменного оксидирования (МПО). В то же время, существует много различных представлений о механизме увеличения оксидной пленки при анодировании, о стадиях развития микрозарядов при МПО, о пробое диэлектрической пленки и т.д.

Данный метод является сложным плазменно-химическим и электрохимическим процессом. Формирование покрытия происходит за счет окисления основного материала, а также, за счет переноса в покрытие ультрадисперсной фазы, находящейся в электролите. Протекание высокотемпературных химических процессов в зоне локальных микроплазменных зарядов происходит под воздействием внешнего источника высокого напряжения.[1]

С целью улучшить биосовместимость и интеграцию металлического имплантата с костной тканью и уменьшить побочные негативные явления, возникающие при использовании имплантата без покрытия, на титановые имплантаты наносят биопокрытия методом МПО, содержащие кальций-фосфатные соединения. Такие металлические конструкции не только защищены от коррозионного воздействия биосреды, но и стимулируют процессы регенерации костной ткани.[2]

Экспериментально было получены покрытие из гидроксиапатита, допированного ионами кремния. Полученное покрытие пористое и состоит из сферолитообразных кристаллов со сквозными порами. Толщина покрытия составляет 80-100 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.Л. Лобанов. Защитные покрытия: учеб. пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардонина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
2. Мамаева А.А., Паничкин А.В., Калипекова М.А., Кенжегулов А.К., Бахытулы Н., Получение кальций-фосфатных покрытий на титановой подложке в условиях микродуговой обработки // Industry 4.0. Scientific Proceedings. –София, 2016 – С. 116-119.

*Жабина А.М., Сарапова С.Ю., Кикенина И.К., Михалёв Р.Ю.,
Грачев Е.К.*

СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЗЭ И ЖЕЛЕЗА В ПРОДУКТАХ РЕЦИКЛИРОВАНИЯ МАГНИТОВ СИСТЕМЫ Nd₂Fe₁₄B

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: azhabina929@gmail.com*

В настоящее время наблюдается устойчивый рост спроса на магнитные материалы, содержащие редкоземельные элементы (РЗЭ). Однако, добыча РЗЭ в России и импорт из Китая связаны со значительными финансовыми издержками. Рециклирование магнитов из отработавших электронных устройств является перспективным способом снижения зависимости от импорта и удешевления конечной стоимости продукции. Однако, отсутствие эффективных и экспрессных методов аналитического контроля продуктов, получаемых на различных стадиях рециклирования магнитов, представляет собой актуальную задачу.

На одном из этапов рециклирования магнитов методом «магнит-к-магниту» имеется возможность провести растворение продуктов технологических процессов с их последующим выделением методом дробной кристаллизации сульфатов редкоземельных элементов и железа. Аналитический контроль продуктов кристаллизации можно проводить титриметрическим способом, с применением титранта Трилона-Б. Данным способом можно определить сумму редкоземельных элементов с точностью анализа 0,3%. Также аналитический контроль можно осуществлять инструментальными физико-химическими методами, которые являются более точными. К ним относятся спектрофотометрический и ИК-Фурье спектроскопический методы анализа. Данным методом можно определить не только сумму редкоземельных элементов, но и точную концентрацию всех элементов с точностью 0,001%. Метод имеет высокую чувствительность и селективность, также есть возможность совместного определения индивидуальных редкоземельных компонентов и железа в пробах. Однако данные методы включают в себя трудоемкую пробоподготовку.

В докладе авторами будет рассмотрены результаты определения концентрации железа и РЗЭ в продуктах процесса кристаллизации различными методами химического анализа.

Захарова П.Т., Денисов Е.С., Ченцов Ф.А., Молоков П.Б.

АНАЛИЗ ГАЗООБРАЗНОГО ХЛОРА МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: pzaharova759@gmail.com*

Газообразный хлор (Cl_2) представляет жёлто-зелёный газ с резким удушающим запахом. Он используется в микроэлектронике для процессов травления и очистки. Высокая реакционная способность газообразного хлора во время анализа может повредить аналитические элементы системы, привести к их коррозии. Поэтому для газохроматографического анализа примесей в газообразном хлоре было необходимо подобрать колонки для работы с галогенами и соответствующую газовую схему работы колонок.

Градуировку и анализ проводили с использованием двух последовательно подключенных колонок: первая колонка – с сорбентом NaueSep D, вторая колонка – с сорбентом Са-А. Газ носитель – гелий. Для защиты чувствительных элементов хроматографа от воздействия хлора и возможного влияния на аналитические пики было предложено отделять хлор от аналитов на первой колонке с последующей обратной продувкой этой колонки. Исследования показали, что на ней можно отделить исследуемые газовые примеси от основного пика хлора. Вторая колонка показала, что на ней можно разделить оставшиеся компоненты газовой смеси за счет фиксированного размера пор молекулярного сита.

Газовая схема была составлена так, что позволяла анализировать выход с первой колонки и выход с первой и второй колонки совместно. Газ носитель – гелий. В качестве детектора использовали ДТП. Для осуществления газовой схемы с обратной продувкой использовали 10-портовый кран. Для градуировки использовали стандартный образец со смесью следующих газов: N_2 , CO_2 , O_2+Ar , с концентрацией веществ в пределах 10 ppm. В результате градуировки на первой колонке от исследуемой смеси отделили CO_2 . После переключения первой колонки в режим обратной продувки, пропустили градуировочную смесь через вторую колонку и разделили O_2+Ar от N_2 .

Разработанная методика эффективно решила проблему высокой реакционной способности газообразного хлора, позволила отделить основной, агрессивный компонент от примесей, защитив тем самым аналитические элементы системы от коррозии и побочных реакций.

Илекис В.М., Молоков П.Б.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТОДАМИ ХЕМОМЕТРИКИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: ilekis111@gmail.com*

Современное развитие химико-аналитического контроля, благодаря компьютеризации и автоматизации лабораторий, позволяет получать большой объем химической информации. В связи с этим перед химиками-аналитиками возникают задачи получения адекватной информации из больших массивов данных или нахождения скрытой (латентной) информации.

Одним из ключевых способов решения таких проблем является хемометрика – раздел аналитической химии, применяющий математические и статистические методы для извлечения скрытой информации из сложных сигналов (спектров, хроматограмм).

Целью данной работы стала разработка универсального программного обеспечения (ПО) для анализа спектральных данных, получаемых с лабораторно-аналитического оборудования, с использованием хемометрических методов.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- 1) анализ и подбор хемометрических методов, применимых для обработки спектральных данных (от классической регрессии до многомерных методов калибровки);
- 2) разработка соответствующего вычислительного алгоритма и пользовательского интерфейса к нему;
- 3) тестирование работоспособности созданного программного обеспечения и верификация получаемых результатов.

В результате было создано ПО на языке R с использованием пакета Shiny. Программа включает в себя основные модули: загрузка данных; внесение референсных значений; предобработка спектральных данных; калибровка и валидация модели; прогнозирование; генерация отчета.

В работе будет представлено разработанное ПО, начиная со стадии загрузки данных до построения математических моделей и расчета неизвестных концентраций на их основе.

Программа успешно апробирована на модельных и реальных данных.

Каширин Д.А.^{1,2}, Дубинин В.С.^{1,2}, Софронов В.Л.¹

ОЧИСТКА ВИСМУТА МОДУЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКОСОЛЕВОГО РЕАКТОРА

¹*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65*

²*ООО «Корпорация по Ядерным Контейнерам»,
123060, г. Москва, ул. Маршала Мерецкова 3
e-mail: DanialCaldwell@mail.ru, dubinini@nuclearcask.ru,
VLSofronov@mephi.ru*

Жидкосольевой реактор на основе соли FLiBe (LiF–BeF₂ с растворёнными минорными актиноидами (МА)) предназначен для дожигания МА и работы в замкнутом ядерном топливном цикле. Топливо в виде расплава позволяет корректировать состав, повторно вовлекая МА [1].

Реактору сопутствует модуль переработки, где топливную соль регенерируют от сторонних примесей. Основная операция модуля — экстракция: цирконий и продукты коррозии, МА, а также лантаноиды переводят из FLiBe в расплав Bi–Li. После извлечения всех примесей, МА вводят в очищенную систему LiF–BeF₂ для повторной загрузки в реактор.

В отработавшем висмуте постепенно накапливаются примеси, ухудшая его свойства, поэтому его необходимо регулярно очищать и максимально возвращать в цикл, снижая объём твёрдых отходов. Очистку висмута возможно провести химическими и электрохимическими методами, но они требуют ввода дополнительных реагентов и дают вторичные радиоактивные отходы. Более предпочтителен физический метод — вакуумная дистилляция, основанная на различии давлений насыщенных паров висмута и примесей. Загрязнённый Bi подается в герметичную вакуумную печь, при температуре плавления создается разрежение, после чего зона испарения нагревается до температуры кипения с учетом давления для интенсивного испарения металла. Пары Bi конденсируются на охлаждаемых поверхностях, собираются в отдельный объём и возвращаются в контур, тогда как высококипящие примеси остаются в дистилляционном остатке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Molten Salt Reactors [Электронный ресурс] // World Nuclear Association. – URL: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-power-reactors/other/molten-salt-reactors> (дата обращения: 22.11.2025).

Копылов М.Ю., Панфилова М.В.

УТИЛИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: teploukhov6@mail.ru*

Радиационно опасные объекты (РОО) – это объекты, на которых хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества. При аварии на таком объекте или его разрушении может произойти выход радиоактивных продуктов или ионизирующего излучения за предусмотренные проектом для нормальной эксплуатации значения.

Вывод из эксплуатации РОО – процесс, направленный на прекращение дальнейшего использования по назначению ядерной установки, при котором обеспечивается безопасность работников (персонала) эксплуатирующей организации, граждан и окружающей среды. [1]

Проблемы вывода из эксплуатации:

- 1) необходимость замены устаревших технологий;
- 2) радиоактивное загрязнение;
- 3) утилизация опасных отходов.

Одним из альтернативных решений может являться утилизация радиоактивных отходов в космос. Данный способ не подходит в связи с большой вероятностью аварии космического аппарата и больших денежных затрат. [2]

Традиционной утилизацией радиационно опасных отходов является захоронение в специально отведённом месте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерная энергетика. Проблемы. Решения / Под ред. М.Н. Стриханова. – В 2-х частях. – Часть 1. – М.:ЦСПим, 2011. – С. 131-140.
2. Миненко, В. Е., Колосков, В. Ю. Исследование принципов и экологических аспектов создания системы удаления радиоактивных отходов в Космос [Электронный ресурс] // Космос, время, энергия. Сборник статей, посвящённых 100-летию Д.Д.Иваненко. — 2004. — URL: <https://www.cosmos-h.ru/iv12-3.html> (дата обращения: 01.12.2025).

*Кравченко Е.В., Чубенко Я.Б., Зеличенко Е.А., Гузеев В.В.,
Муслимова А.В.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИТОЗАНСОДЕРЖАЩЕГО ГРАНУЛИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: lizochka.kravchenko.03@mail.ru*

Гранулированные сорбенты, имея активные функциональные группы, способные обмениваться ионами с примесями, растворенными в воде, широко применяются в водоочистке для удаления солей жесткости и загрязнителей различной природы, в химической промышленности – для выделения продуктов органического и неорганического синтеза, а также в медицине – в гемосорбции для очистки крови.

Гранулы ионитов на основе отечественного сырья, ввиду недоступности зарубежного, должны соответствовать требованиям ГОСТ 20301-2022 и ГОСТ Р 52127-2003 по таким показателям, как гранулометрический состав, остаточное содержание влаги, коэффициент однородности и пр. В настоящей работе рассмотрены способы синтеза хитозансодержащих материалов в виде гранул и приведен обзор публикаций относительно их функциональных характеристик и возможных вариантов применения в промышленности. Различными методами получены образцы гранул из комплексных соединений хитозана с органическими кислотами.

Соответствие хитозансодержащих ионитов применяемым аналогам по гранулометрическому составу, сорбционной емкости и осмотической стабильности проверено по методикам, описанным в, ГОСТ 17338-88, ГОСТ 10900-84. Проведены испытания гранул на устойчивость в кислой и щелочной средах. Поверхность материалов изучена методом сканирующей электронной микроскопии. Проведены предварительные исследования сорбционной способности гранул методом кислотно-основного титрования в соответствии с ГОСТ 20255.1-89.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Азарова Ю.А.* Применение хитозана и его производных для аналитического концентрирования ионов благородных металлов // Вестник ДВО РАН. – 2015. – №4. – С. 118 – 122.
2. *Rinaudo M., Pavlov G., Desbrières J.* Solubilization of Chitosan in Strong Acid Medium // International Journal of Polymer Analysis and Characterization. – 1999. – Т. 5, № 3. – С. 267-276

Лялина Н.А., Житков С.А., Ткачук С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОКСОВЫХ АНОДОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томская обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: nadehzali@gmail.com*

Основным способом производства фтора является электролиз расплава трифторида калия. Теоретически для производства 1 тонны фтора требуется 14,1 тыс. кВт·ч при напряжении 10 В. Для сравнения можно использовать данные о затратах электроэнергии на производство одного из самых энергоёмких материалов – алюминия: для производства 1 тонны алюминия энергозатраты составляют от 13 до 17 тыс. кВт·ч. Следовательно, совершенствование производства фтора является актуальным, поскольку влияет на себестоимость фтора.

Были проведены исследования вольт-амперных характеристик образцов различных анодов по сравнению с образцами штатных анодов. Для этого использовали образцы угольных анодов, пропитанных фенолформальдегидной смолой, и образцы анодов, обработанных в среде газообразных углеводородов при температуре 1000°C.

Исследование проводили в лабораторном электролизёре, представляющем собой литровый фторопластовый стакан, к крышке которого крепятся анод, катод и термопара. Обогрев электролизёра производится электроплиткой. Средства автоматики позволяют контролировать и регулировать температуру электролита, разность потенциалов, силу тока и время электролиза.

Показано, что образцы анодов, пропитанных фенолформальдегидной смолой, поляризуются при напряжении 7,5 В, температуре около 90°C и концентрации фтороводорода 41%. Образцы штатных анодов поляризуются при напряжении 8 В и температуре 95°C. Образцы анодов, обработанных углеводородом, практически не поляризуются при этих условиях, что позволяет предположить снижение расхода электроэнергии и, соответственно, снизить себестоимость фтора.

*Маркелова Д.В., Аранжин Д. А., Зеличенко Е.А., Гузеева Т.И.,
Чубенко Я.Б.*

РАЗРАБОТКА КОСТНОЗАМЕЩАЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: dashenka.markelova.2004@mail.ru*

В современной травматологии и челюстно-лицевой хирургии потребность в персонализированных костных имплантатах стремительно растет. Наибольший интерес представляют остеозамещающие материалы, сочетающие биоактивность и пригодность для 3d-печати, которая позволяет создавать имплантаты сложной анатомической формы. Однако существующие материалы часто не обеспечивают оптимального баланса между механической прочностью, скоростью биодеградации и остеоинтеграции.

В рамках разработки композитного материала ключевой задачей является синтез высокочистого кристаллического гидроксиапатита (ГА) с заданным стехиометрическим составом и размером частиц. Кроме того, необходимо подбирать подходящий биополимер, который обеспечит сходство композитного материала по физико-механическим свойствам с природной костью. Разработанный состав в дальнейшем будет использоваться для 3d-печати имплантатов.

Для получения кристаллического гидроксиапатита необходим строгий контроль температуры реагентов и скорости подачи осадителя. Особое внимание уделяется контролю кислотности на стадии растворения, поскольку значение рН является критическим параметром, определяющим фазовый состав и морфологию конечного продукта [1].

В ходе эксперимента для контроля стадии растворения гидроксиапатита в соляной кислоте (HCl) с образованием кислого раствора прекурсоров применяли метод кислотно-основного титрования. В качестве титранта использовался стандартный раствор 5%-го гидроксида натрия (NaOH). Полученный осадок выдерживали в маточном растворе в течении 24 часов и корректировали по значению рН.

ЛИТЕРАТУРА

Дорожкин С. В., Агатопоулус С. Биоматериалы: Обзор рынка // Химия и жизнь. – № 2. – 2002. – 8 с.

Михалев Р.Ю., Кикенина И.К., Широков А.В., Саулов К.А., Грачев Е.К.

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СУММЫ РЗМ ИЗ ОТРАБОТАВШИХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: romanmikhalev6@gmail.com*

В современном мире наблюдается острая нехватка редкоземельных металлов (РЗМ), при этом потребность в магнитных материалах для передовых технологических сфер неуклонно растёт. В этих условиях переработка магнитных сплавов становятся в важнейший стратегический приоритет. [1] Тем не менее задача полного извлечения РЗМ из отслуживших магнитов по-прежнему представляет собой серьёзную технологическую проблему. Сегодня применяются разные способы переработки — от гидрометаллургических и пирохимических до порошковых технологий.

Научной группой Северского технологического института НИЯУ МИФИ предложены две схемы переработки кристаллов суммы РЗМ, получаемые кристаллизацией из раствора, в котором были растворены гидриды магнитных сплавов. Полученные кристаллы растворяются и далее применяются разные осадители, для перевода из сульфатов в более удобную для технологического процесса форму.

Первая схема представляет собой осаждение оксалат анионом для получения осадка РЗМ, полученный осадок проходит термообработку для получения суммы оксидов РЗМ. Преимуществом данного метода является его простота, малое количество стадий, получение осадка, который обладает хорошими гранулометрическими свойствами. К минусам данной технологии можно отнести зависимость от чистоты начальных кристаллов.

Во второй схеме в полученный раствор кристаллов вносится сульфат щелочных металлов или сульфат аммония, для получения устойчивого осадка двойных сульфатов, полученный осадок обрабатывается раствором щелочи, для перевода РЗМ в гидроксидную форму, полученный осадок также переводится в оксидную форму путем прокаливания. К плюсам данной методики можно отнести возможность отделить РЗМ иттриевой группы от цериевой, что позволяет сократить число стадий дальнейшей обработки.

В докладе будет представлена сравнительная характеристика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Binnemans K. et al // Journal of Cleaner Production. 2013. 51. 1-22

Нижегородов Д.С.^{1,2}, Антипов В.А.¹, Грачев Е.К.²

СОРБЦИОННАЯ ПЕРЕРАБОТКА НЕРЕЦИКЛИРУЕМЫХ СКРАПОВ СМЕШАННОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА

¹*АО «СХК», г. Северск, Томской обл., ул. Курчатова, 1*

²*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, 636036,*

г. Северск Томской обл., пр. Коммунистический, 65

e-mail: nds_rabota@mail.ru

Для осуществления концепции замкнутого ядерно-топливного цикла на площадке АО «СХК», происходит строительство опытно-демонстрационного энергетического комплекса (ОДЭК). Одним из объектов ОДЭК является модуль фабрикации и рефабрикации топлива (МФР), на котором происходит отработка технологии фабрикации смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива.

Процесс фабрикации СНУП-топлива сопровождается образованием некондиционной смеси урана и плутония – т.н. скрапов. Скрапы подразделяются на рециклируемые, которые можно вернуть в «голову» процесса фабрикации, и нерезицилируемые, не отвечающие ряду параметров (морфологии, химическим примесям), которые не позволяют вернуть такие скрапы в «голову» процесса изготовления. Нерезицилируемые скрапы целесообразно направлять на переработку с выделением ценных компонентов. При выборе способа переработки предлагается рассматривать гидрометаллургические технологии, такие как сорбционное разделение.

При реализации и отработке сорбционного процесса, большую часть играет выбор ионообменной смолы. На данный момент, российская компания ООО «ГП СМОЛЫ» выпускает аниониты, которые являются улучшенными аналогами зарубежной продукции. Ключевыми показателями при выборе смолы является полная объемная и динамическая емкости. Из выпускаемой продукции, наиболее лучшие результаты показал анионит АМ-4ВП [1]. Следовательно, для переработки скрапов от производства СНУП-топлива целесообразнее применять данную марку анионита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.В. Лызлова, А.В. Глухова, Л.В. Чернавская, А.В. Конников Сорбционное выделение четырехвалентных актинидов из азотнокислых технологических растворов с применением анионитов производства ООО «ГП СМОЛЫ» // Вопросы радиационной безопасности. Научно-практический журнал ФГУП «Производственное объединение «МАЯК» // №4 (116) 2024 г. – с. 66-72.

Охотникова Е.П., Гузеева Т.И., Дяденис М.Ю., Зеличенко Е.А.

СИНТЕЗ ВОДОРАСТВОРИМОГО ХИТОЗАНА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАНОЗАЖИВЛЯЮЩИХ КОМПОЗИТОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: okhotnikova.lizochka@mail.ru*

Синтез водорастворимого хитозана является ключевым для создания современных ранозаживляющих материалов [1]. Этот биополимер обладает высокой биосовместимостью, ускоряет регенерацию тканей и оказывает антимикробное действие, но его применение ограничено низкой растворимостью в нейтральной среде или высокой кислотностью, при растворении в кислой среде. Для решения этой проблемы разработан метод контролируемого разрушения высокомолекулярного хитозана в растворе уксусной кислоты с предварительной обработкой хитозана растворами перекиси водорода. Этот подход позволяет получить низкомолекулярную, хорошо растворимую форму хитозана, сохраняя его полезные свойства.

Использование водорастворимого хитозана в составе ранозаживляющих и костнозамещающих композитов на основе гидроксиапатита (ГА) и серебра позволяет создать материал с улучшенными функциональными характеристиками. Хитозан выступает в качестве матрицы, обеспечивающей равномерное распределение активных компонентов: ГА, способствующего регенерации костной и мягких тканей.

Таким образом, создание композита на основе водорастворимого хитозана, ГА и коллоидного серебра открывает новые возможности для создания эффективных ранозаживляющих систем, сочетающих в себе биосовместимость, антимикробную активность и удобство применения. Кроме этого, благодаря своей растворимости и способности формировать стабильные гели, хитозан облегчает нанесение композита и его фиксацию на нетканых материалах.

ЛИТЕРАТУРА

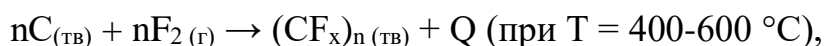
1. Охотникова, Е. П. Создание ранозаживляющих композиций на основе гидроксиапатита и природных полимерных материалов / Е. П. Охотникова, М. Ю. Дяденис, Т. И. Гузеева // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий: Материалы Всероссийской конференции, посвященной 80-летию атомной промышленности, Северск, 19–23 мая 2025 года. – Северск: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2025. – С. 31.

Петренко А.Ю., Смолкин П.А.

РАЗРАБОТКА ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКАРБОНФТОРИДОВ

*АО «Сибирский Химический Комбинат»,
636039, г. Северск, Томской обл., ул. Курчатова, 1
e-mail: AYPetrenko@rosatom.ru*

Поликарбонфториды (ПКФ) применяются как компонент производства химических источников тока в медицинской технике, нефтегазовой, авиационной промышленности, специальных источниках питания, а также при производстве жидких и консистентных смазочных материалов в качестве антифрикционного компонента. Химическая формула ПКФ – CF_x , где $x = 0,25-1,25$. Синтез ПКФ происходит, в основном, по реакции:



где $Q = 197$ кДж/моль (47 ккал/моль).

Фторирование проводят смесью газообразного фтора с инертными газами (например, Ar, N₂), фтороводородом и другими для снижения термических эффектов при температурах, которые подбираются для каждого вида фторируемого углеродного материала опытным путем.

В ходе работы рассмотрены основные способы получения поликарбонфторидов, разработана технологическая схема процесса и конструкторская документация на реактор синтеза ПКФ, изготовлен опытный образец реактора фторирования, смонтирована опытная установка для синтеза ПКФ. На опытной установке проведена отработка технологических режимов синтеза ПКФ, наработаны опытные образцы ПКФ с различной степенью фторирования, образцы испытаны в АО «СХК» и в лабораториях потенциальных потребителей.

В результате выполненных работ в АО «СХК» был создан опытный образец реактора синтеза ПКФ, определены оптимальные технологические параметры фторирования различных углеродных материалов, в том числе, полученных от потенциальных заказчиков. Нарботаны и протестированы на предприятиях потенциальных потребителей опытные партии поликарбонфторидов. Подтверждены высокие технические характеристики ПКФ при испытаниях опытных источников тока, а также смазочных материалов.

Погонышев Д.С., Набокин А.О., Мельник М.А., Винныйчук В.А.

СНЯТИЕ ПОСЛЕ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВИБРАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

¹*Волгодонской инженерно-технический институт НИЯУ МИФИ,
347360 г. Волгодонск, ул. Ленина, д. 73/94.,
e-mail: nabokin2017@yandex.ru*

Сварка служит одним из ключевых технологических процессов в машиностроении, судостроении, энергетике и других отраслях. Неравномерный нагрев и охлаждение металла в зоне шва приводят к возникновению значительных остаточных напряжений, которые снижают несущую способность, усталостную долговечность и коррозионную стойкость конструкций. Традиционным методом устранения этих напряжений является термический отпуск, который обладает рядом недостатков: высокие энергозатраты, длительность процесса, риск коробления изделий и необходимость использования крупногабаритного оборудования. В связи с этим актуален поиск альтернативных, более эффективных и экономичных методов.

Одним из таких методов является вибрационная обработка. Данный метод реализуется путем приложения к детали внешней циклической нагрузки с помощью электромеханических, пневматических или гидравлических вибраторов. Процесс осуществляется при резонансной или близкой к ней частоте конструкции, что обеспечивает максимальную амплитуду колебаний при минимальной подводимой мощности. В зонах концентрации остаточных напряжений сумма внешней и внутренней нагрузки локально превышает предел микротекучести материала, вызывая микропластические сдвиги в кристаллической решетке и по границам зерен. Это приводит к перераспределению и диссипации энергии упругих искажений, снижая макроскопический уровень остаточных напряжений. Процесс контролируется по трем основным параметрам: частота (подбирается экспериментально или расчетно для каждого типа конструкции), амплитуда (ограничивается пределом усталости материала) и время воздействия (оптимизируется для достижения требуемой степени релаксации).

Целью данной работы является исследование физических основ, технологических параметров и практической эффективности вибрационного метода снятия после сварочных напряжений.

Саулов К.А., Кикенина И.К., Михалёв Р.Ю., Широков А.В., Грачев Е.К.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ СУММЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПУТЁМ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ ПРОДУКТОВ РЕЦИКЛИРОВАНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ИЗДЕЛИЙ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: kirllsaulov2002@gmail.com*

В 21 веке актуальным является вопрос о получении чистых оксидов редкоземельных металлов (в дальнейшем-РЗМ) или их суммы. РЗМ является критически важным компонентом для современной промышленности, включая электронику, энергетическую промышленность, катализ и т.д. Однако их эффективное применение зависит от степени химической чистоты, которая зачастую должна составлять 99.9%.

Для получения из рециклированного сырья марок магнитов среднестатистического уровня потребления необязательно проводить разделение РЗМ, соответственно можно применять способы получения суммы РЗМ.

Одним из этих методов является кристаллизация из системы магнитов $Nd_2Fe_{14}B$. В случае разделения сульфата железа и сульфата неодима. Кристаллы РЗМ образуются в результате нагрева раствора до 180 градусов, а кристаллы железа при охлаждении раствора до 5 градусов. Исследовательской группой СТИ НИЯУ МИФИ предложен постадийный способ разделения кристаллов РЗМ и железа из раствора

Однако кристаллогидраты, полученные данным способом, не удовлетворяют степени чистоты, которая должна составлять не менее 95 % устранить этот недостаток возможно методом перекристаллизации. Полученные ранее кристаллы железа и неодима повторно растворялись и кристаллизовались. В процессе перекристаллизации раствор насыщен по РЗМ поэтому в процессе повторной кристаллизации выделяются кристаллы сульфата неодима, а кристаллы железного купороса не получают достаточного насыщения для образования кристаллов и остаются в растворе.

В докладе на конференции будут рассмотрены основные особенности процесса перекристаллизации и условий процесса влияющих на чистоту кристалла.

Саулов К.А.¹, Ложкомоев А.С.¹, Казанцев С.О.¹, Земляков Д.И.²

АДСОРБЦИЯ КРАСИТЕЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ МЫШЬЯКА НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СТЕКЛОВОЛОКНАХ

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, 634055, Академический пр., 2/4, Томск, Томская обл.

²ООО «Атек», Россия, г. Томск
e-mail: kirllsaulov2002@gmail.com

Одной из распространённых проблем в мире, является загрязнение воды. Для эффективной очистки воды могут быть использованы гибридные адсорбенты, в которых активная наноразмерная фаза иммобилизована на поверхности макрофазы [1], например, стекловолокна [2].

В работе проведена модификация стекловолокна наноструктурными частицами AlOOH , исследована адсорбционная способность материала в отношении красителей соединений As. Предложен оригинальный способ модификации адсорбента наночастицами Ag. Установлено, что модифицированные стекловолокна способны снизить концентрацию As(III) в растворе с 0,5 до 0,01 мг/л, а концентрацию красителей с 10 мг/л до 0,9 мг/л. При пропитке модифицированных стекловолокон суспензией порошка Ag и последующей термической обработкой при 400 °С, происходит фрагментация закрепившегося на поверхности стекловолокон частиц Ag, с образованием наночастиц Ag размером 2-20 нм. Такой способ модификации может быть использован для предотвращения бактериального обрастания материалов на основе стекловолокон.

Модификация стекловолокон наноструктурами бемита проведено в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2022-0002. Модификация серебром выполнена за счет гранта РФФ № 25-19-00598, <https://rscf.ru/project/25-19-00598/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Senkina, E. I., Buyakov, A. S., & Lozhkomoev, A. S. (2023). Modification of Porous $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ Ceramic by Boehmite Nanosheet Structures. *Inorganic Materials: Applied Research*, 14(3), 842-849.
2. Lozhkomoev, A.S., Kazantsev, S.O., Glazkova, E.A., Bakina, O.V., Kondranova, A.M., Svarovskaya, N. V., & Lerner, M. I. (2018). Synthesis, characterization and properties of porous micro/nanostructures obtained by oxidizing aluminum nanoparticles with water in the presence of glass fibers. *Materials Research Express*, 5(11), 115011.

Симонов Е.С., Иванов М.Л., Иванов К.А.

ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕЩЕСТВА С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОМЕТРИИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: simonov.egor.03@mail.ru*

Измерение концентрации вещества с помощью спектрометрии основано на регистрации взаимодействия электромагнитного излучения с анализируемым образцом. Каждое вещество поглощает или излучает свет на характерных длинах волн, что позволяет не только идентифицировать его, но и количественно определить его содержание, в том числе в газовой фазе. Одним из ключевых преимуществ спектрометрии при анализе газов является высокая селективность – газовые молекулы обладают узкими и хорошо различимыми спектральными линиями, что минимизирует перекрёстные помехи и обеспечивает точность измерений.

Среди наиболее распространённых методов – инфракрасная (ИК) спектроскопия, которая эффективна для полярных молекул, таких как CO₂, CH₄ или NO₂; лазерная абсорбционная спектроскопия, отличающаяся исключительной чувствительностью и возможностью дистанционного зондирования; масс-спектрометрия, позволяющая определять молекулярную массу и структуру компонентов газовой смеси даже в следовых концентрациях. Преимущества этих подходов включают неразрушающий характер анализа, возможность непрерывного мониторинга в реальном времени, минимальную подготовку пробы и способность одновременно регистрировать несколько компонентов. Благодаря этим качествам спектрометрические методы широко применяются в экологическом контроле (например, для измерения выбросов промышленных предприятий), в медицине (анализ выдыхаемого воздуха на биомаркеры заболеваний), в системах обеспечения безопасности (обнаружение утечек токсичных или взрывоопасных газов), а также в фундаментальных исследованиях – от лабораторных экспериментов до изучения атмосфер других планет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скуг Д., Уэст Д., Холлер Ф., Крауч С. Основы аналитической химии / Пер. с англ. — 9-е изд. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2020. — 944 с. (Skoog D. A., West D. M., Holler F. J., Crouch S. R. *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 9th ed. — Cengage Learning, 2013.)

Тараненко Д.А., Ткачук С.А., Житков С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ АНОДА НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: daniltaranenko2017@yandex.ru*

Значительные объёмы производства фтора обусловлены, в первую очередь, его применением для получения гексафторида урана (UF_6) . Последний является ключевым соединением в процессе обогащения изотопа урана-235. Промышленное получение фтора осуществляется электролизом расплава $KF \cdot 2 HF$, эффективность которого зависит от ряда факторов, в том числе и от геометрии анода. Оценки показывают, что только стоимость электроэнергии для получения 1 тысячи тонн фтора превышает 100 млн рублей (при напряжении 12 В и тарифе 6 руб/кВт·ч). Актуальность исследования обусловлена задачей снижения энергопотребления при получении фтора, где анод является одним из важных конструктивных элементов. Целью работы является исследование влияния геометрии анода на вольт-амперные характеристики электролизёра.

Классический анод представляет собой прямоугольный параллелепипед. В качестве альтернативного варианта выбран анод в виде трёх цилиндров. Исследование проводилось методом математического моделирования. Использовались эмпирические зависимости плотности тока от межэлектродного расстояния, от высоты анода, полученные в ходе предварительных экспериментов. Для цилиндрической формы анода межэлектродное расстояние является переменным фактором, влияющим на плотность тока. Для плоского анода это расстояние постоянно, что задаёт однородное распределение плотности тока по поверхности.

Предложенная модель позволила количественно оценить влияние геометрии анода на величину плотности тока. Расчёты показали, что для анода в форме прямоугольного параллелепипеда ожидаемый ток составляет около 300 А. Для анода в виде трёх цилиндров высотой 60 см ожидаемый ток может достигать 323 А, что выше значений для классического анода.

Федотова М.А., Винныйчук В.А.

ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

*Волгодонский инженерно-технический институт филиал МИФИ,
Россия, г. Волгодонск ул. Ленина, 73/94
e-mail mariamfedotov@gmail.com*

Фреттинг-коррозия представляет собой специфический и опасный вид деградации материалов, возникающий на стыке двух поверхностей, находящихся под нагрузкой и подверженных микросмещениям. Эти колебания, часто невидимые невооруженным глазом, приводят к постепенному истиранию защитных оксидных плёнок и окислению обнажающегося основного металла, что в итоге вызывает прогрессирующее повреждение контактирующих деталей.

На атомных электростанциях (АЭС) условия, провоцирующие фреттинг, являются практически штатными: вибрации от работающего оборудования, тепловые расширения и циклические механические нагрузки создают идеальную среду для его развития. В данном контексте борьба с фреттинг-коррозией трансформируется из технической задачи в стратегическую проблему проектирования и эксплуатации.

Традиционные методы, такие как увеличение объема смазки, неэффективны, так как трение происходит на наноуровне. Решение найдено в создании «наноподшипников» из алмаза, обеспечивающих нулевое измеряемое трение при различных скоростях и нагрузках. Модифицированная смазка на основе графена демонстрирует данный эффект, который нарушается только при попадании воды между поверхностями.

Внедрение данной инновации, прогнозируемое в перспективе 15 лет, открывает путь к созданию оборудования для АЭС нового поколения с практически неограниченным ресурсом по износу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2462538 С1 Российская Федерация, МПК С23F 11/08. Состав для защиты металлов от коррозии и солеотложений : № 2011138856/02 : заявл. 23.09.2011 : опубл. 27.09.2012 / С. М. Гайдар, Е. А. Пучин, В. Д. Прохоренков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – EDN IHLXNF. – 3с.
2. Кузнецов, Ю. И. Прогресс в ингибировании коррозии металлов и модификация защитных нанослоев на металлах / Ю. И. Кузнецов // Коррозия: материалы, защита. – 2011. – № 1. – С. 1-10. – EDN NTCGGN. – 3с.

Ченцов Ф.А., Молоков П.Б.

КОНЦЕПЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛЕНТНЫХ ФОРМ И КОНЦЕНТРАЦИЙ АКТИНИДОВ В АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ МОДУЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: fachentsov@mephi.ru*

В настоящее время на базе АО «СХК» в рамках проекта «Прорыв» строится опытно-демонстрационный энергетический комплекс (ОДЭК), включающий модуль переработки облученного топлива по пиро-гидро технологии. Для безопасного и эффективного ведения процесса необходим контроль концентраций актинидов и азотной кислоты в обеих фазах на стадии экстракции. Однако существующая методика, основанная на отборе проб и многостадийном лабораторном анализе, неприменима для оперативного контроля: прямой пробоотбор опасен из-за высокой активности растворов, а анализ требует много времени для их разбавления.

В качестве решения предложена концепция бесконтактного онлайн-контроля на основе спектрофотометрии в УФ-видимой области с проточной кюветой и последующей автоматической обработкой данных. Ручная расшифровка спектральных данных является нетривиальной задачей ввиду большого числа спектральных наложений различных валентных форм актинидов и необходимостью дополнительного учета кислотности измеряемых растворов. Для ее решения предложено обрабатывать полученные спектральные данные с помощью методов математического моделирования и хемометрики.

Для разработки методики спектрофотометрического определения концентраций и валентных форм актинидов необходимо разработать алгоритм обработки спектральных данных (например, с помощью метода частичных наименьших квадратов), а также написать программный код для автоматической обработки поступающих спектральных данных. Кроме этого, необходимо провести исследования поведения плутония в азотнокислых растворах при различных концентрациях азотной кислоты, сначала в лабораторных условиях с элементами, имитирующими спектры плутония в УФ-видимом диапазоне (например, неодимом) и самим плутонием, а затем приступить к апробации методики в опытно-промышленных условиях.

Чечельницкий М.Д., Молоков П.Б.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕЛЕЗА И ХРОМА НА
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТВОРАХ МЕТОДОМ
РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА И ЧАСТИЧНЫХ
НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ (PLS)**

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: matthew3387c@mail.ru*

Госкорпорация Росатом имеет ряд приоритетных задач, одной из которых является развитие горно-добывающей промышленности, в частности добычи и переработки редкоземельных металлов (РЗМ) с целью обеспечения сырьевой независимости страны. Возникает необходимость определения точных концентраций редкоземельных элементов в растворах, чтобы правильно подобрать условия переработки и обеспечить качество конечных продуктов. Эта задача осложняется наличием в растворе сразу нескольких РЗМ в силу их схожих физико-химических свойств, а также примесями нежелательных элементов, основным из которых может являться железо. Всё это ведёт к ошибкам в определении концентрации РЗМ при обработке данных.

Для анализа растворов, содержащих РЗМ используются физико-химические методы, среди которых выбран рентгенофлуоресцентный анализ. Он основан на регистрации вторичного рентгеновского излучения, испускаемого атомами после облучения первичным рентгеновским излучением.

Интерпретацию результатов осложняет тот факт, что спектральные линии железа, хрома и других примесей накладываются на линии редкоземельных элементов, которые, в свою очередь, также перекрываются между собой.

Для повышения точности анализа и учёта энергетического наложения применялся метод частичных наименьших квадратов (PLS), позволяющий выявлять скрытые зависимости между переменными и снижать влияние шумов и взаимных помех.

На основе метода PLS была построена калибровочная модель для количественного определения РЗМ в присутствии железа и хрома. Модель эффективно учитывает эффект энергетического перекрытия спектров и позволяет определять концентрации РЗМ с приемлемой точностью даже в присутствии значительных количеств железа и хрома.

Широков А.В., Кикенина И.К., Михалёв Р.Ю., Грачев Е.К.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИКО-
ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ
РЕЦИКЛИРОВАНИЯ МАГНИТОВ СИСТЕМЫ Nd₂Fe₁₄B**

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: thelittledoggaf@gmail.com*

Вектор развития в сфере искусственного интеллекта определил ближайшее будущее для всего мира. Повсеместное открытие новых и расширение уже действующих дата-центров, позволяет автоматизировать технологические процессы и повышать качество производимой продукции. В данном контексте, весьма актуальной задачей в сфере ИИ является создание программ и баз данных на основе ИИ, для проведения детального разбора и обработки результатов физико-химических методов анализа. Однако, в настоящее время широкий спектр информации, охватываемой самыми известными в технической сфере ресурсами с искусственным интеллектом не позволяет решить данную задачу.

Научной группой СТИ НИЯУ МИФИ предлагается разработка собственной программы, базы данных на основе искусственного интеллекта для анализа и сбора аналитических данных, получаемых в научно-исследовательских работах по материаловедению сплавов на основе РЗМ, технологических процессов рециклирования отработавших магнитных сплавов системы Nd₂Fe₁₄B. Рециклирование магнитных сплавов является актуальной темой для всей мировой промышленности, после введения Китаем запрета на экспорт металлов и сплавов на основе элементов средне-тяжелой группы РЗМ.

Режимы технологических процессов рециклирования отличаются от режимов и свойств классической технологии создания магнитов. Создание программы и наработка собственной базы, а также анализ полученных цифровых данных, позволит ускорить обработку результатов, своевременно отреагировать на отклонения и скорректировать технологический процесс.

В докладе авторами будет представлен план и маршрут создания эффективного инструмента для анализа и обработки данных, получаемых в научно-исследовательских работах по материаловедению сплавов на основе РЗМ, технологических процессов рециклирования отработавших магнитных сплавов системы Nd₂Fe₁₄B.

*Секция
Техническая кибернетика.
Моделирование и информатизация технологий
и объектов атомной отрасли*

Акрамов Д.Х.

ПРОЕКТ «АТОМГРАД: СВЯЗ ПОКОЛЕНИЙ»: ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ТРУДОВЫХ ЦЕННОСТЕЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ МОЛОДЁЖИ

*Уральский технологический колледж НИЯУ МИФИ,
624250, г. Заречный, Свердловской обл., ул. Ленина, 27,
e-mail: urtk@merphi.ru*

В городах с высокой технологической культурой, таких как атомный город Заречный, преемственность трудовых традиций является основой для развития кадрового потенциала отрасли. Современные цифровые форматы открывают новые возможности для передачи молодому поколению ценностей, лежащих в основе атомной индустрии: ответственности, научной добросовестности, коллективной работы и преданности делу. Проект создан для формирования живой связи между опытом ветеранов-атомщиков и новым поколением специалистов.

В рамках проекта собраны и систематизированы профессиональные биографии более 60 работников атомной отрасли Заречного - инженеров, учёных, первостроителей и управленцев. На основе этих материалов создан веб-ресурс, где каждая история представлена как пример жизненного и профессионального выбора, отражающего ключевые отраслевые принципы. Платформа демонстрирует не только карьерные достижения, но и раскрывает этические и трудовые ориентиры, сопровождавшие работу в условиях высоких технологий и ответственности.

Проект «Атомград: связь поколений» реализован как интерактивная цифровая платформа (atomgrad.site), разработанная с применением современных веб-технологий. Техническая реализация проекта обеспечивает не только надёжное хранение и отображение материалов, но и создаёт основу для дальнейшего развития платформы как инструмента передачи ценностей атомной отрасли новым поколениям.

Проект уже применяется в образовательных организациях Заречного и региона как материал для профориентации и обсуждения профессиональной этики, а также в программах адаптации молодых специалистов предприятий атомной отрасли. Сайт служит не архивным хранилищем, а интерактивной средой, позволяющей молодёжи соотнести современные карьерные возможности с опытом и ценностями предшествующих поколений.

Акрамов Д.Х., Кунавин Е.А.

**ВИРТУАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ БЕЗОПАСНОСТИ:
ИНТЕРАКТИВНАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

*Уральский технологический колледж НИЯУ МИФИ,
624250, г. Заречный, Свердловской обл., ул. Ленина, 27,
e-mail: urtk@mephi.ru*

В условиях активной цифровизации производственных процессов особую актуальность приобретает внедрение инновационных методов обучения промышленной безопасности. Для атомной отрасли, где требования к квалификации и подготовке персонала исключительно высоки, разработка современных цифровых решений, способных перенести традиционные инструктажи в интерактивную среду, становится стратегически важной задачей. Данное исследование направлено на разработку концепции и прототипа цифровой обучающей платформы, которая сочетает элементы геймификации и симуляции реальных производственных ситуаций для эффективного обучения персонала требованиям охраны труда, пожарной безопасности и гражданской обороны.

В рамках исследования был проведён анализ современных IT-решений в области цифрового обучения с учётом требований современных требований, а также разработана структурированная база знаний. На этой основе создан прототип интуитивно понятной цифровой платформы, реализующей интерактивные симуляции аварийных ситуаций (пожары, утечки, эвакуация), систему геймификации с балльной оценкой и рейтингами, адаптивные сценарии обучения, учитывающие уровень подготовки пользователя, и аналитический модуль для мониторинга прогресса и формирования отчётности.

Внедрение такой платформы позволяет стандартизировать процесс обучения безопасности на предприятиях атомной отрасли, снизить затраты на проведение повторных очных инструктажей, повысить степень усвоения материала за счёт интерактивности и наглядности, а также сформировать устойчивые поведенческие модели в стрессовых ситуациях.

Таким образом, разработанная платформа - это эффективный инструмент обучения промышленной безопасности, способный повысить качество подготовки персонала.

Березин А.А., Носков М.Д.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОМОЩНИК ДЛЯ АНАЛИЗА ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ПЛАНОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧНОГО ПОЛИГОНА СПВ УРАНА

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: AABerezin@terphi.ru*

Развитие технологий скважинного подземного выщелачивания урана сопровождается усложнением производственных процессов и ростом требований к качеству оперативного контроля и управления. В этих условиях особое значение приобретает создание интеллектуальных инструментов анализа плановых и фактических данных, позволяющих своевременно выявлять отклонения, проводить анализ причин обнаруженных отклонений и формировать обоснованные рекомендации по корректирующим мероприятиям.

В данной работе представлены методы и численные алгоритмы проведения анализа уменьшения или увеличения фактических значений по сравнению с плановыми значениями по трём основным показателям добычи: темпы добычи урана, концентрация урана и объём продуктивных растворов. Реализованы алгоритмы для анализа показателей по предприятию, месторождениям, участкам, залежам, блокам, ячейкам и скважинам добычного полигона СПВ урана. В процессе работы алгоритмов анализируются изменения дебита откачных скважин, приёмистости закачных скважин, концентрации урана в продуктивных растворах, концентрации кислоты и окислителя в выщелачивающих растворах. В результате работы алгоритмов определяются возможные причины отклонений и формируются предложения по корректирующим мероприятиям.

Программный модуль для анализа отклонений разработан на языке C++ в среде программирования Embarcadero RAD Studio 10.4. Модуль интегрирован в информационную систему «Производственное планирование и контроль» в виде интеллектуального помощника.

Использование интеллектуального помощника способствует выполнению планов работы предприятия за счет своевременного определения и устранения причин отклонений по ключевым показателям.

Березин А.А., Носков М.Д., Чеглоков А.А.

WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ПЛАНОВЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ РАБОТЫ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: AABerezin@terphi.ru*

Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) представляет собой совокупность сложных бизнес процессов, требующих постоянного контроля производственных показателей и анализа их соответствия плановым значениям для своевременного выявления и устранения отклонений. Для решения этих задач применяется информационная система план-фактного анализа. Для обеспечения оперативного доступа к системе с любого устройства целесообразно использовать web-технологии.

В настоящей работе представлена web-версия информационной системы план-фактного анализа. Архитектура web-приложения состоит из двух частей: клиентской и серверной. Серверная часть реализована на языке программирования Python с использованием фреймворка Django. Она отвечает за авторизацию пользователя, загрузку и обработку всей необходимой для визуализации информации из базы технологических данных. Для взаимодействия с СУБД PostgreSQL применяется библиотека Psycopg2. Клиентская часть реализована в виде HTML-страниц, с использованием языка программирования JavaScript. Клиентская часть отвечает за визуализацию плановых и фактических значений производственных показателей, а также отклонений фактических данных от плановых. Показатели представляются в графическом виде (линейный график, гистограмма и др.), с указанием значений на выбранную дату. Web-приложение установлено на компьютере под управлением ОС AstraLinux.

Использование web-приложения предоставляет возможность работать с информационной системой план-фактного анализа не только на персональном компьютере, но и на мобильном устройстве, имеющем подключение к внутренней сети предприятия и web-браузер с поддержкой JavaScript.

Буткеев К.А., Косов П.А., Иванов К.А.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ШКАФА ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКЕ ДЛЯ ПРОФОРИЕНТАЦИИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: Butkeevk@gmail.com*

Привлечение абитуриентов на инженерные специальности требует наглядных и увлекательных форматов. Целью данной работы является создание дуэльной игры на базе промышленного шкафа управления, который в игровой форме демонстрирует принципы автоматизации и позволяет школьникам соревноваться в скорости реакции.

Ключевым элементом системы является программируемый реле ПР-103, [1] выполняющий функцию логического контроллера. Управление и визуализация игрового процесса реализованы через панель оператора ВП-110. Алгоритм работы построен по принципу светофора: на панели ВП-110 последовательно загораются красный, желтый и зеленый сигнал, который является командой для участников дуэли нажать свою кнопку.

Решение задачи основано на программировании ПР-103, который обрабатывает сигналы от двух концевиков, определяя, чье нажатие было первым после зажигания зеленого сигнала. Панель ВП-110 отображает не только текущую фазу "светофора", но и результат дуэли — номер победившего игрока. Это создает понятную и азартную игровую среду, где результат напрямую зависит от скорости реакции участника.

Результатом работы является функционирующий прототип, который наглядно демонстрирует работу промышленного контроллера, человеко-машинного интерфейса и дискретных датчиков. Данный тренажер служит эффективным инструментом профориентации, погружая школьников в основы автоматизации через непосредственное игровое взаимодействие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программируемые контроллеры в задачах автоматизации: учебное пособие / под ред. Н.Н. Васильева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 448 с.

Бушуев С.Д., Иванов К.А., Троценко В.П.

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ СВЧ-ТРАКТА ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: svyat.bush@mail.ru*

Измерение мощности на высоких частотах остаётся ключевой задачей для разработчиков и операторов телекоммуникационных систем с момента зарождения радиосвязи. Особенно актуальным это становится в условиях расширения использования импульсных и сложных модулированных сигналов, когда традиционные методы измерений перестают обеспечивать достаточную точность и универсальность. Проект направлен на разработку специализированной печатной платы автоматизированного измерителя мощности СВЧ-тракта, предназначенного для контроля параметров радиочастотных каналов в телекоммуникационных приложениях и системах беспилотных летательных аппаратов. Основу устройства составляет современный True RMS-детектор, способный корректно измерять мощность непрерывных, импульсных и модулированных сигналов, что критически важно для точной настройки и диагностики СВЧ-трактов

Плата разработана с учётом требований к целостности сигналов и минимизации электромагнитных помех: обеспечено строгое разделение аналоговых, цифровых и СВЧ-частей, реализован контроль импеданса и экранирование чувствительных цепей. Архитектура платы, разработанная в САПР Altium Designer, минимизирует помехи и обеспечивает стабильность даже при высоких дозах облучения. Проект занимает нишу специализированных измерителей для полевых условий: её устойчивость к вибрациям, предложенная архитектура True RMS-детектирования, широкий температурный диапазон работы и низкое энергопотребление, позволяют сократить количество внешних приборов в измерении и тестировании СВЧ-трактов.

Проект направлен на модернизацию существующих СВЧ-измерителей, расширяя их функциональность и обеспечивая совместимость с требованиями современных радиочастотных систем.

Григорьев Д.А., Носков М.Д.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОМПРЕССОРА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ И МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: da.grigorevv@yandex.ru*

Загрязнение проточной части компрессора газотурбинной установки приводит к снижению степени повышения давления, коэффициента полезного действия и мощности, а также к росту удельного расхода топлива. На практике решение о промывке часто принимается по календарно-ресурсным интервалам, по отклонению от паспортных характеристик или на основе экспертной оценки трендов. Такие подходы слабо учитывают влияние температуры, давления и влажности наружного воздуха, потерь в воздухозаборном тракте и работы системы автоматического управления. В результате возможны как преждевременные, так и запоздалые промывки, сопровождающиеся дополнительными энергетическими и экономическими потерями.

В работе предлагается методика диагностики загрязнения компрессора на основе архивных эксплуатационных данных. По измеренным давлениям, температурам и расходам вычисляются термодинамические параметры компрессора с учётом переменного показателя адиабаты и влажности воздуха. На этой основе определяются коэффициент полезного действия, степень повышения давления и мощность компрессора и формируются безразмерные индексы деградации относительно паспортных характеристик. Для повышения достоверности применяется фильтрация режимов.

Далее строится эталонная модель «чистого» компрессора по данным после промывки, которая описывает зависимость диагностических индексов от внешних условий и режимных параметров. На основе этой модели рассчитываются остаточные индексы, очищенные от внешних условий. Для контроля состояния используются методы экспоненциального взвешенного среднего и кумулятивные суммы, по которым формируются формализованные критерии необходимости промывки. В докладе будут представлены результаты применения методики к газотурбинной установке и показано, что предлагаемый подход позволяет более обоснованно назначать промывку по сравнению с традиционной практикой.

Иванов К.А., Блюдов Д.А.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНЕРТНОЙ СРЕДЫ В БОКСАХ С АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЕМ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: ssti@mephi.ru*

На современном этапе развития технологий все более высокие требования предъявляются к качеству производимой продукции, что обуславливает необходимость создания эффективных решений для предотвращения негативного воздействия внешних факторов на технологические процессы. Одним из таких факторов является контакт материалов с кислородом, который может приводить к их окислению и снижению эксплуатационных характеристик.

Особое значение в этом контексте приобретают системы, позволяющие поддерживать азотную среду с минимальным содержанием кислорода, не превышающим 1 ppm. Внедрение таких систем особенно актуально для обеспечения качественной работы перчаточных боксов, которые широко используются в высокотехнологичных сферах производства.

Данная работа посвящена разработке и исследованию системы автоматического регулирования инертной (азотной) среды в герметичных боксах, предназначенных для работы с материалами, обладающими альфа-излучением. Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения радиационной безопасности персонала и сохранения свойств радиоактивных материалов, для которых критически важно исключение контакта с кислородом и влагой воздуха. Поддержание стабильной инертной атмосферы предотвращает неконтролируемое распространение радиоактивных элементов.

Иванов К.А., Мишин К.С.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕРАТИВНЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, 636036,
г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический 65.,
e-mail: ki08845@gmail.com*

Одной из современных тенденций в области разработки программного обеспечения является использование генеративных нейросетей для автоматизации написания кода. Целью работы является создание полнофункционального игрового приложения с использованием методологии создания кода с использованием генеративных нейросетей, при которой разработчик описывает поведение программы на естественном языке.

Вариант решения данной задачи, предложенный в нашей работе, основан на последовательной генерации кода с помощью нейросетевой модели DeepSeek. Данный подход позволяет создавать рабочие прототипы программ, фокусируясь на архитектуре и логике приложения, а не на синтаксических деталях реализации.

В качестве инструмента разработки используется язык программирования Python с библиотекой Pygame. Нейросетевая модель DeepSeek выполняет роль ассистента, генерирующего код на основе промптов, описывающих требуемую функциональность. Программа анализирует ввод пользователя, управляет игровыми объектами и сохраняет результаты в файловую систему. Показания системы управления преобразуются в игровые действия, а состояние игры отображается через графический интерфейс. При разработке разных модулей игры можно построить зависимость функциональности от сложности промпта, для этого будет достаточно описать базовую механику и последовательно дополнять её новыми возможностями.

Результатом работы является полностью функциональная игра «Snake Legends» с системой рекордов, несколькими состояниями интерфейса и адаптивным управлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shinnars, P. Pygame Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pygame.org/docs/>
2. PyInstaller Development Team. PyInstaller Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pyinstaller.org/>

Иванов К.А., Леонович И.А., Прокопенков А.П.

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ВОПЛОЩЕНИЕ МАЛОМАСШТАБНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ХРАНИЛИЩА

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: ssti@mephi.ru*

В условиях стремительного технологического развития XXI века вопросы, связанные с применением и популяризацией технических устройств, приобретают особую значимость. Особенно востребованной становится практическая автоматизация, где ключевую роль играют шкафы автоматики, активно внедряемые в решение различных прикладных задач.

Целью данной работы является эффективная презентация возможностей нашего института для учащихся школ с акцентом на технические и инженерные дисциплины. Для достижения этой цели была поставлена конкретная задача: разработать и собрать наглядное демонстрационное устройство на базе программируемого логического контроллера ПЛК-210. Устройство призвано в интерактивной форме, через две игровые механики, проверить и продемонстрировать скорость реакции будущих абитуриентов. В процессе выполнения работы был проведен анализ существующих решений и литературный обзор, подготовлен полный комплект технической документации, осуществлен подбор необходимого оборудования и компонентов. На текущий момент успешно завершено программирование и отладка одной из двух запланированных игр.

В дальнейшем будет реализован полноценный шкаф малой автоматики, в котором будут находиться приборы на проверку реакции студентов. Итоговая цель-компактная установка, которую можно носить с собой и презентовать обучающимся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ким Д. П. Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 309 с.
2. Шандров Б. В. Ш201 Технические средства автоматизации : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б. В. Шандров, А.Д. Чудаков. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 368 с. ISBN 978-5-7695-3624-3

Иванов К.А., Щербина В.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОМПТ-ИНЖИНИРИНГА В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: vasy4323@gmail.com*

В современной разработке программного обеспечения активно используются генеративные нейросети для написания кода. Целью данной работы является создание полнофункционального игрового приложения с использованием методологии создания кода с применением генеративных нейросетей, при которой разработчик описывает поведение программы на естественном языке.

Вариант решения данной задачи в нашей работе, основан на последовательной генерации кода с помощью нейросетевой модели Qwen. Данный подход позволяет создавать рабочие прототипы программ, фокусируясь на архитектуре и логике приложения.

В качестве инструмента разработки используется язык программирования Python с библиотекой Pygame. Нейросетевая модель Qwen выполняет роль ассистента, генерирующего код на основе промптов, описывающих требуемую функциональность. Программа анализирует ввод пользователя, управляет игровыми объектами и сохраняет результаты в файловую систему. Показания системы управления преобразуются в игровые действия, а состояние игры отображается через графический интерфейс. При разработке различных модулей игры можно установить зависимость между сложностью промпта и функциональностью результата. Для реализации этого подхода достаточно описать базовую игровую механику и постепенно дополнять её новыми функциональными возможностями.

Результатом работы является полностью функциональная игра «FOOTYSUPER⁵: LEGENDARY EDITION» с системой рекордов, несколькими состояниями интерфейса и адаптивным управлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shinnars, P. Pygame Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pygame.org/docs/>
2. Мазур, И. И. Генеративные нейронные сети / И. И. Мазур, Д. А. Семенов. – Москва : Техносфера, 2023. – 320 с. – ISBN 978-5-94836-665-1.

Коробейников Е.А., Носков М.Д.

СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ, ОСНОВАННАЯ НА РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОМ ПОДХОДЕ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: EvAKorobeynikov@rosatom.ru*

Трубопроводная арматура (ТА) является многочисленным и критически важным классом оборудования, обеспечивающим стабильную работу промышленных объектов. Для поддержания и восстановления ресурсных характеристик ТА проводится их техническое обслуживание и ремонт (ТОиР). Одним из направлений совершенствования организации ТОиР является оптимизация объемов и сроков проведения ТОиР ТА. Эффективное управление ТОиР ТА не только повышает надежность и безопасность систем, но и существенно снижает эксплуатационные затраты, что делает этот процесс приоритетным для предприятий всех отраслей.

В настоящей работе рассматривается стратегия риск-ориентированного обслуживания применительно к электропроводной промышленной ТА. Риск-ориентированное обслуживание основывается на постоянном мониторинге вероятности функционального сбоя и анализе динамики изменения этого риска с учётом технического состояния оборудования. Для реализации риск-ориентированного обслуживания предлагается разработать интеллектуальную информационную систему. Система предназначена для идентификации и прогнозирования дефектов и состоит из:

- модуля сбора, передачи и хранения больших объемов диагностических данных;
- модуля диагностики технического состояния оборудования, где анализ диагностических данных производится с применением математических моделей и алгоритмов машинного обучения.

Интеграция современных методов сбора и обработки информации позволяет обеспечить охват значительного количества единиц оборудования экономически приемлемым способом. При этом обеспечивается высокая точность и надежность в выявлении критических отклонений в работе электропроводной ТА. Также интеграция способствует минимизации эксплуатационных рисков и повышению общей эффективности производственных процессов.

Кошкин В.А., Залевский А.О.

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический 65
e-mail: sol20042013@gmail.com*

На данный момент существует необходимость в оснащении кафедры электроники и автоматики физических установок современным лабораторным оборудованием. Для решения этой задачи предлагается разработать и внедрить специализированный многофункциональный лабораторный стенд. Данный комплекс позволит студентам и преподавателям в наглядной и практической форме изучать принципы работы, настройку, калибровку и интеграцию современных систем контроля, измерения и автоматизации (КИПиА), которые являются основой для управления сложными технологическими процессами.

Конкретной и основной целью данного проекта является создание многофункционального лабораторного стенда для изучения датчиков давления, ориентированного на образовательные программы по направлению «Промышленная автоматизация». Стенд будет моделировать реальные условия эксплуатации, что позволит проводить комплексные лабораторные работы, формируя у обучающихся практические навыки, востребованные на современных производственных предприятиях.

Задачами являются:

1. Проведение литературного обзора существующих стендов.
2. Разработка концепции.
3. Разработка рабочей конструкторской документации.
4. Разработка алгоритма и визуализация.
5. Изготовление прототипа лабораторного стенда.
6. Разработка методического материала.

Результатом данной работы полностью функционирующий и работоспособный лабораторный стенд датчиков давления с приложенной к нему рабочей документацией, написанным программным кодом на языке непрерывных функциональных схем (Continuous Function Chart) и методическим материалом.

*Кулеш Ю.О.^{1,2}, Щипков А.А.^{1,2}, Глазырин А.С.², Боловин Е.В.^{2,3},
Беляускене Е.А.^{2,3}, Языков Н.Е.²*

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КВАДРАТИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ СТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ

*¹Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65 e-mail:
yok13@tri.ru;*

*²Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30;*

*³Тюменский индустриальный университет, Россия, 625000, г. Тюмень,
ул. Володарского, 38;*

В системах автоматического управления (САУ) актуальна задача оценки параметров нестационарной динамической системы. Учитывая различные условия применения оборудования параметры могут отличаться от паспортных. Данная проблема особенно критична для систем управления объектов повышенной ответственности и надежности, где снижение качества регулирования недопустимо.

Особый интерес представляет динамическая идентификация для систем, эксплуатируемых в широком диапазоне климатических условиях (от -60°C до $+40^{\circ}\text{C}$). При изменении температурных режимов наибольшее внимание уделяется изменению активного сопротивления. Оценивание активного сопротивления позволяет косвенно определить температуру динамической системы, например, асинхронного двигателя. Знание текущей температуры обмоток двигателя дает возможность, построения электротепловых моделей, а также, например, позволяет оценить токовый запас, ограниченный времятоковой защитой.

Для визуализации изменения коэффициентов параметрической идентификации возможно применение квадратичных функционалов. Построение графиков функционала позволяет наглядно отследить динамику оценок активного сопротивления в зависимости от температуры в пространстве оцениваемых коэффициентов. В работе представлена визуализация решения задачи оценивания параметров нестационарной динамической системы с помощью квадратичных функционалов. В качестве динамической системы рассматривается апериодическое звено 1-го порядка RL-цепь при различных температурных режимах.

Мерзляков К.А., Карташов Е.Ю.

ОБОСНОВАНИЕ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА С КАРБИДНЫМ ТОПЛИВОМ И НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический 65
e-mail: AtomicStudent@yandex.ru*

Представлены результаты комплексного расчёта параметров компактного ядерного реактора мегаваттного класса на быстрых нейтронах. В качестве конфигурации обоснован выбор карбидного уран-плутониевого топлива (U,Pu)C (плотность 13600 кг/м³, температура плавления 2370°C) и жидкого натрия в качестве теплоносителя, что обеспечивает оптимальное сочетание энергоэффективности и массогабаритных показателей. Для автоматизации расчётов геометрических и теплогидравлических характеристик был разработан специализированный программный инструмент на Python, позволяющий проводить многовариантный анализ и оптимизацию. На основе заданных начальных условий (диаметр активной зоны 40 см, высота 1,5 м, шаг решетки ТВЭЛ 1,5 см) выполнены расчёты компоновки, определившие компактную активную зону из 7 тепловыделяющих сборок.

Проведенное моделирование подтвердило работоспособность концепции: при тепловой мощности 4,5 МВт обеспечивается эффективный теплоотвод с расходом натрия 29,61 кг/с, средней скоростью 1,54 м/с и нагревом от 500 до 620°C. Эффективность теплопередачи ($Nu=6,7$) соответствует турбулентному режиму течения жидкого металла. Нейтронно-физический расчет, включающий гомогенизацию изотопного состава и анализ спектров захвата, показал достижение критичности с коэффициентом размножения 1,0303 и реактивностью приблизительно 3%, что свидетельствует о стабильной и управляемой цепной реакции с запасом на выгорание в течение расчетной кампании. Полученные результаты демонстрируют принципиальную осуществимость, сбалансированность и безопасность установки, соответствующей жестким требованиям к ядерным реакторам по надежности, безопасности и эффективности.

Мехряков И.К., Носков М.Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРОЦЕСС ДЕГРАДАЦИИ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: mehryakov2000@mail.ru*

Критичная роль силовых кабельных линий (СКЛ) в обеспечении бесперебойной работы предприятий атомной отрасли определяет необходимость в постоянном контроле параметров. СКЛ выступают ключевым элементом системы электроснабжения атомных предприятий. Агрессивная среда радиохимических производств – это сочетание различных факторов, воздействие которых существенно ускоряют деградацию изоляции, сокращая срок службы СКЛ и повышая риск аварийных отказов. Данное явление влечёт за собой экономические потери и потенциальные экологические угрозы.

Основными факторами агрессивного воздействия являются: ионизирующее излучение, вызывающее радиолиз и деструкцию изоляционных материалов и химические вещества (кислоты, щёлочи, органические растворители), провоцирующие коррозию оболочек и разрушение изоляции. Также к агрессивным факторам относятся повышенные температуры, ускоряющие термоокислительные процессы; влажность и конденсат, способствующие электрохимической коррозии и снижению сопротивления изоляции. Помимо вышперечисленного не исключаются и механические воздействия – вибрации, давления и абразивный износ.

Под влиянием этих факторов деградируют ключевые характеристики изоляции: снижается электрическое сопротивление, уменьшается электрическая прочность, утрачивается механическая прочность оболочек, снижается термическая стабильность материалов и радиационная стойкость.

В перспективе необходимо развивать подход к исследованию комплексной диагностики СКЛ, определяющий степень воздействия агрессивных факторов в условиях радиохимических производств. Применение полученных данных позволит повысить надёжность СКЛ и продлить срок службы, обеспечив безопасную и эффективную работу радиохимических предприятий.

Михеева К.Н., Копейкин А.Э., Сарлейский А.В.

СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ОБЪЕКТА НА БАЗЕ ИОТ-ТЕХНОЛОГИЙ

*Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ,
607186, Нижегородская область, г. Саров, ул. Духова, д. 6,
e-mail: sarfti@mephi.ru*

Современные технологии Интернета вещей (IoT) открывают новые возможности для автоматизации микроклимата в помещениях, позволяя объединять разрозненные системы в единый комплекс с обработкой данных в реальном времени.

«Умный» офис — это пространство с интегрированными инженерными, мультимедийными и информационными системами. Его цель — создание комфортных условий для сотрудников и экономичное управление зданием. В реальном времени он контролирует доступ, работу энерго- и теплоснабжения, водоснабжения и пожарной безопасности.

Информационная платформа «Умного офиса» состоит из клиентского модуля, серверной части, веб-сервера, сервера приложений и базы данных. Клиентская сторона отвечает за сбор показаний с датчиков, управление устройствами и взаимодействие персонала с системой. Приложение обрабатывает запросы пользователей и предоставляет доступ к информации. Сервер приложений управляет данными, обрабатывает их и передает на клиентскую сторону или сохраняет в хранилище. Модуль сбора информации фиксирует параметры с контроллеров и передает их в базу данных (БД). Доступ к БД обеспечивает уровень данных, включающий MSSQL Server и InfluxDB. Описания датчиков, контроллеров и оборудования хранятся в Microsoft SQL, а их показания — в InfluxDB.

При взаимодействии с системой «Умный офис» пользователь выбирает параметры для отображения. Эти сведения поступают из БД MS SQL. Затем модуль подключается к брокеру, собирающему данные с контроллера. Брокер передает информацию в модуль сбора, где фильтруются нужные показатели. Далее данные записываются в InfluxDB. Информация с датчика поступает в Arduino, затем в брокер и отображается через MQTT Lens. Модуль получает значения с датчика, а метаданные берет из MS SQL и сохраняет в InfluxDB. Инструмент визуализации загружает данные из БД и выводит их на информационную панель.

Палашков И.И., Иванов К.А.

МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ИННОВАЦИЙ НА ПРИМЕРЕ МАШИНЫ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: trento2003@yandex.ru*

Актуальность работы обусловлена малой эффективностью метода постройки технических устройств, основанного на применении единичных пассивных компонентов, таких как резисторы, конденсаторы и транзисторы.

Целью данной работы является демонстрация преимущества метода прототипирования, основанного на использовании функционально самостоятельных модулей, на конкретном примере – машине вероятностей.

В процессе работы проводился подбор модулей для реализации всего функционала устройства, производился монтаж установки и оценка преимуществ данного подхода к его созданию перед классическим.

В процессе работы модули были проверены на совместимость и работоспособность, и вся работа свелась к соединению проверенного оборудования посредством надежного монтажа проводников и контактов, что значительно повысило эффективность и надежность конечного изделия. Построенный экземпляр устройства генерации истинно случайных чисел наглядно показал, что применение специализированных модулей позволяет эффективно решать практические задачи, экономит ресурсы и способствует повышению общей продуктивности научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Ю.Б., Фролова О.В. Проектирование радиоэлектронных устройств с применением стандартных модулей. Радиоэлектроника и информатика, № 3, 2018 г. <https://tech-journals.ru/journals/electronics/2451-radioelektronika-i-informatika-3-iyul-sentyabr-2018.html>
2. Андреев Д.А., Морозов К.И. Применение модульных технологий в проектировании электронной аппаратуры. Электротехника и приборостроение, № 2, 2019 г. <https://rucont.ru/catalog/862?q=родионов>
3. Дмитриев Е.Н., Попов Б.М. Современные подходы к организации процесса быстрого прототипирования в образовании. Вестник Московского университета, серия “Технические науки”, № 4, 2020 г.

Пастухов А.М., Рубцов И.А.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ГРАНУЛЯТА ДЛЯ МІМ-ТЕХНОЛОГИИ

*АО «ФНПЦ «ПО «Старт» имени М.В. Проценко», 442960, г. Заречный, Пензенской обл. пр. Мира, д1.
e-mail: alexpastuch@mail.ru*

МІМ-технология (metal injecting molding) – это технология литья под давлением термопластичных полимерных материалов высоконаполненных металлическим порошком [1]. Сырьем для данной технологии является гранулят, представляющий собой композиционный материал на основе полимерного связующего и металлической основы. Соотношение металлического порошка и связующего в грануляте влияет на размеры спеченных изделий.

Для осуществления контроля соотношения порошка и связующего в грануляте используется метод замещающей газовой пикнометрии, однако данный метод является лабораторным, что не позволяет автоматизировать данный процесс. В связи с чем предлагается использование вихретокового метода контроля количественного содержания металлического порошка в грануляте. Сущность метода заключается в измерении индуктивности исследуемого материала путем возбуждения в нем вихревых токов, влияющих на электрические параметры цепи. Модель измерительной катушки приведена на рисунке 1.

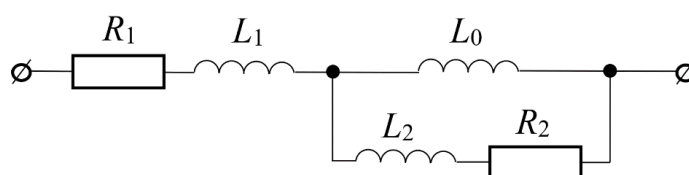


Рисунок 1 – Схема замещения вихретокового датчика

При выявлении зависимости индуктивности исследуемого образца от количественного содержания в нем металлического порошка, появится возможность создания информационно-измерительной системы мониторинга параметров гранулята.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 59650-2021. Литье под давлением полимерных материалов, высоконаполненных металлическими или керамическими порошками (rim-технология). Термины и определения. – Москва: Российский институт стандартизации, 2021. – 8 с.

Сташков В.П., Троценко В.П.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД УЧЁТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: vitaliy-stashkov@mail.ru*

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности образовательного процесса и формирования профессиональных компетенций у студентов в сфере учёта и контроля ядерных материалов. В современных условиях безопасного и эффективного использования ядерных технологий важное значение приобретает подготовка специалистов, обладающих практическими навыками работы с современными системами автоматизации. В связи с этим в рамках реализации данной работы осуществляется усовершенствование лабораторного учебного стенда, включающее внедрение современных элементов безопасности, автоматизированных систем сбора и обработки данных, а также средств мониторинга и управления. Такой подход способствует более наглядному и полноценному освоению теоретических аспектов курса «Автоматизация системы учета и контроля ядерных материалов», а также развитию практических умений в работе с современными автоматизированными технологиями. В результате этих мероприятий повышается профессиональный уровень студентов, их готовность к профессиональной деятельности в области учёта и контроля ядерных материалов, что соответствует актуальным требованиям безопасности ядерных технологий.

Таким образом, проведённое усовершенствование лабораторного оборудования является важным шагом в модернизации образовательного процесса и формировании квалифицированных специалистов, способных обеспечить безопасное и эффективное использование ядерных ресурсов.

Троценко В.П., Иванов М.Л., Иванов К.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА СЫПУЧЕЙ СМЕСИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: Vycheslav.Trocenko@yandex.ru*

Определение наличия азотистых соединений в продукте по внешним признакам представляет собой важную и сложную задачу современной промышленности. Предлагаемый подход основывается на технологиях машинного зрения и направлен на разработку эффективной измерительной системы, способной оперативно оценивать концентрацию посторонних веществ в продукте.

Задача исследования: создание автоматизированной системы выявления процентного состава примесей посредством методов обработки изображений реального времени.

Работа включает описание двух ключевых подходов к определению загрязнений.

Метод анализа потока продукта. Этот метод предполагает использование камер высокого разрешения для фиксации изображений потоков сыпучих материалов. Полученные кадры подвергаются обработке средствами анализа интенсивности цвета, позволяя вычислить долю примесей относительно основного вещества.

Метод детектирования отдельных частиц примесей. Здесь применяется специализированный алгоритм, разработанный специально для распознавания мелких объектов-примесей среди основной массы материала.

Для реализации вышеуказанных методик разработана компьютеризированная система, базирующаяся на платформе N100 и библиотеке OpenCV. Система автоматически обрабатывает поток поступающих изображений, проводит расчет количества и цветовой характеристики каждого пикселя, обеспечивая оценку концентрации примесей.

Итогом представленной разработки стало создание функционального устройства, обеспечивающего мониторинг качества продукции путем непрерывного визуального контроля доли примесей в режиме реального времени. Разработанные технологии позволяют повысить точность измерений и сократить временные затраты на контроль производственных процессов.

Чаплинский Е.Ю., Иванов К.А.

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОТОКОЛИРОВАНИЯ СОВЕЩАНИЙ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65.
e-mail: chaplinskii2001@mail.ru*

В настоящее время фиксация итогов длительных научно-технических совещаний является трудоемкой задачей, сопряженной с риском потери значимой фактуры при ручном конспектировании. Использование популярных облачных сервисов для автоматизации этого процесса часто ограничено требованиями информационной безопасности, высокой стоимостью подписки и лимитами на длительность записи. В связи с этим актуальной задачей является создание автономных систем протоколирования, функционирующих на локальном оборудовании организации.

Система реализует последовательный конвейер обработки данных. На первом этапе выполняется транскрипция речи моделью Whisper и диаризация спикеров библиотекой PyAnnote. Ключевой особенностью разработки является возможность работы на GPU с 6 ГБ видеопамати. Это достигается за счет механизма динамической оркестрации ресурсов: нейросети загружаются в память поочередно и принудительно выгружаются сразу после выполнения задачи.

Формирование структурированного отчета осуществляется языковой моделью Qwen3-4B с 4-битным квантованием. Для обработки длительных совещаний внедрен алгоритм, который сегментирует массив текста, суммаризирует блоки по отдельности и синтезирует итоговый документ по заданному шаблону.

Внедрение разработанного веб-приложения позволяет сократить время оформления протокола с нескольких часов до десятка минут, обеспечивая при этом полную конфиденциальность данных и нулевую стоимость эксплуатации за счет использования имеющегося оборудования.

*Секция
Оборудование и технологии атомной
промышленности*

Березников С.А., Бритвин Н.И.

РЕАКТОР НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ – БУДУЩЕЕ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Уральский технологический колледж НИЯУ МИФИ,
624250, г. Заречный, Свердловской обл., ул. Ленина, 27,
e-mail: urtk@mephi.ru*

Атомная энергетика обеспечивает около 20% электроэнергии России, способствуя энергетической независимости страны [1]. Одной из ключевых проблем отрасли является накопление ядерных отходов, их количество к 2030 году может превысить 400 тысяч тонн. Перспективным решением являются реакторы на быстрых нейтронах (РБН) с замкнутым топливным циклом. В отличие от традиционных реакторов, где используется лишь 3% энергетического потенциала топлива, РБН могут преобразовывать обедненный уран-238 в плутоний, пригодный для повторного использования [1].

Преимущества РБН: отсутствие высокого давления в активной зоне, исключение пароциркониевой реакции, минимальные риски потери теплоносителя. В качестве теплоносителя используется жидкий натрий, что требует особых мер безопасности, но не снижает перспективности для стационарных АЭС.

Россия обладает уникальным опытом эксплуатации РБН: БН-600 (введен в 1980 г.), БН-800 (введен в 2015 г.), планируется строительство БН-1200 к 2035 году [2]. Развитие реакторов на быстрых нейтронах соответствует стратегическим задачам Росатома по увеличению доли атомной энергетики до 25% к 2045 году и созданию технологий нового поколения. Это позволит решить проблему ядерных отходов и обеспечить долгосрочную топливную базу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2030 года (в гражданской части) в редакции 2020 года // [Электронный ресурс]: Официальный сайт «Росатома». – Режим доступа: <https://clck.ru/3Eyr9d>, свободный. (дата обращения: 03.11.2025).
2. *Ташлыков О.Л., Филин И.А.* Сооружение головного энергоблока с реакторной установкой БН-1200 на Белоярской АЭС // Тезисы докладов научно-технической конференции по ядерным технологиям для молодых ученых, специалистов, студентов и аспирантов, Екатеринбург, 12–16 сентября 2022 года. – Москва: Издательство «Перо». – С. 10-11.

Воробьева Е.С., Софронов В.Л.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПЕЧИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: evorobeva572@gmail.com*

Высокотемпературные печи являются неотъемлемым оборудованием, используемым в атомной энергетике. Такие печи обеспечивают обращение с ядерными материалами на стадиях от производства топлива до захоронения радиоактивных отходов.

Печи классифицируют по следующим признакам:

- 1) по технологическому назначению и выполняемым задачам:
 - печи для производства ядерного топлива (печи синтеза диоксида урана, печи спекания топливных таблеток);
 - печи для обработки конструкционных материалов (вакуумные дуговые и индукционные печи, печи термообработки и отжига);
 - индукционные печи для остекловывания РАО;
 - печи для переработки ОЯТ (вакуумные печи отжига и дистилляции);
- 2) по принципу нагрева и конструкции:
 - муфельные печи сопротивления (принцип нагрева основан на выделении тепла при прохождении электрического тока через нагревательный элемент с высоким сопротивлением, предназначены для проведения термических процессов в вакууме до 2000 °С);
 - вакуумные индукционные печи (работают на принципе электромагнитной индукции, позволяют нагревать образцы в условиях вакуума до температуры 1300-2000 °С);
 - печи прямого резистивного нагрева (нагрев происходит за счет сопротивления материала протеканию через него тока, работают при температурах до 2500 °С в вакууме или среде нейтральных газов повышенной чистоты).

Особую важность представляют печи спекания топливных таблеток при приготовлении СНУП топлива. Эти печи обеспечивают точное поддержание температурного режима в среде высокочистого азота или аргона. Они уникальны не только своими технологическими параметрами, но и многоуровневой системой безопасности, системами контроля температуры, давления и герметичности, что исключает аварийные ситуации и обеспечивает стабильность технологического процесса.

Воронин С.Ю., Хахалев М.С.

МЕТОДЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: mrjimjeu@gmail.com*

В ходе эксплуатации оборудования на объектах атомной отрасли на внутренних поверхностях образуются прочные радиоактивные отложения. Их накопление повышает радиационную опасность, затрудняет обслуживание и нарушает технологические процессы, что делает эффективную и безопасную дезактивацию стратегически важной задачей.

Выбор оптимального метода — комплексная инженерная проблема, требующая баланса между высокой степенью очистки, минимизацией вторичных отходов, сохранностью конструкционных материалов, экономической и технологической целесообразностью.

Различают следующие виды дезактивации: химическая, физическая, физико-химическая.

Химическая — удаление загрязнений растворами реагентов. Основные ограничения по применению — это химическая совместимость с материалом и температурные режимы.

Физическая — механическое удаление поверхностного слоя. В основном методы данного вида дезактивации имеют ограничения по применению для деталей со сложной геометрией, а также часто требуется разборка аппаратов.

Физико-химическая — комбинация химических реагентов с физическим воздействием (ультразвук, абразивы и др.). Ограничения зависят от конкретной технологии (объем обрабатываемых деталей, требования к геометрии).

На выбор метода влияют характеристики объекта (размер, форма, состав загрязнения) и требования к результату (степень очистки, объем отходов, сохранение свойств материала, стоимость).

В докладе будут представлены рекомендации по выбору конкретного метода дезактивации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы технологии дезактивации: учеб. пособие / В.М. Гавриш, Н.М. Дербасова. // Севастополь: СевГУ, 2017 - 316 с.: ил.

Залевский А.О., Иванов К.А.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА ОТЛОЖЕНИЙ ДИОКСИДОВ УРАНА В ПЕРЧАТОЧНЫХ БОКСАХ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, 636036,
г. Северск, Томская обл., пр. Коммунистический 65,
e-mail: Zao2277@ya.ru*

Процесс создания опытных образцов таблеток из диоксида урана осуществляется с применением правил и норм безопасности в защищённых перчаточных боксах. В процессе работы образуются отложения из порошка диоксида урана, которые скапливаются в труднодоступных местах бокса. Процесс сбора отложений, как правило, осуществляется вручную при помощи вакуумной системы или манипулятора, которым управляет технологический персонал. Ограниченная длина перчаток и конструктивные особенности бокса создают проблему для организации качественного сбора отложений.

Данная работа направлена на создание автоматизированной системы для сбора отложений диоксидов урана в перчаточном боксе. Принцип действия системы основан на свойствах магнитного поля. Ключевым элементом системы является подвижное приспособление для создания магнитного поля. Диоксид урана является парамагнетиком и под действием сильного магнитного поля притягивается к собирающей площадке подвижного приспособления и транспортируется в специально отведенное место для сбора в перчаточном боксе. Очистка собирающей площадки от порошка осуществляется путем обесточивания магнитной системы.

Результатом проведённых исследований является создание опытного образца автоматизированной системы на базе ПЛК и ПЭВМ, которая обеспечит качественный сбор отложений диоксидов урана в перчаточных боксах и уменьшит влияние ионизирующего излучения на технологический персонал.

Копейкин А.Э., Михеева К.Н., Сарлейский А.В.

МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОТОЧНОГО ЗАХВАТА ГЕОМЕТРИИ ОБЪЕКТОВ И ПРОСТРАНСТВ

*Саровский физико-технический институт - филиал НИЯУ МИФИ,
607188, г. Саров, Нижегородской обл., ул. Духова, д. 6,
e-mail: copeikin.artem92@gmail.com*

Эволюция современных технологий привела к широкому распространению методов трехмерной реконструкции объектов и пространств с использованием мобильных устройств. Актуальной задачей является создание инструментов, объединяющих преимущества различных методов сканирования для повышения точности и скорости обработки данных.

Методология ближней фотограмметрии позволяет получать модели с высокой детализацией текстур, однако она требовательна к условиям освещения и наличию визуальной фактуры на объекте [1]. В свою очередь, встроенные в современные смартфоны LiDAR-сенсоры формируют плотное облако точек на основе измерения времени пролета лазерного импульса, обеспечивая точный метрический каркас даже при слабом освещении, но уступают в разрешении визуальных данных [2]. Комбинирование данных, полученных с помощью фотограмметрии и LiDAR, позволяет нивелировать недостатки каждого из методов в отдельности.

В ходе работы была реализована программная система, выполняющая сбор данных, их предварительную обработку и реконструкцию 3D-модели непосредственно на мобильном устройстве. Тестирование показало, что гибридный подход значительно сокращает время на постобработку и упрощает процесс калибровки съемочной системы, делая технологию доступной для широкого круга задач — от сохранения культурного наследия до создания планов помещений [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Т., Робсон С., Кайл С., Бём Й. Ближняя фотограмметрия и 3D-визуализация. – 3-е изд. – Берлин: Де Грюйтер, 2020. – 715 с.
2. LiDAR-сканер в устройствах Apple [Электронный ресурс]. – Apple Inc. – Режим доступа: <https://developer.apple.com/documentation/avfoundation/capturing-depth-using-the-lidar-camera> (дата обращения: 01.12.2025).
3. Ремондино Ф., Эль-Хаким С. Моделирование 3D-объектов на основе изображений: обзор // Фотограмметрический вестник. – 2006. – Т. 21, № 115. – С. 269–291.

Купри А.А., Смирнов М.А., Грачев Е.К.

РЕАБИЛИТАЦИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ, ВЫВОДИМЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: kupriarsentiya@gmail.com*

При выводе ядерных объектов из эксплуатации необходимо обеспечить их безопасную деактивацию и восстановление окружающей среды. Радиационное загрязнение создаёт серьёзную угрозу для здоровья людей и экосистем, поэтому требуются эффективные реабилитационные меры.

В рекультивации используют три подхода: технологический, экологический и социальный. Наиболее распространён технологический, основанный на химической экстракции радионуклидов и биоремедиации. Он включает мониторинг загрязнения, локализацию источников радиации, предотвращение распространения вредных веществ, реабилитацию участков, дезактивацию или демонтаж сооружений, биологическую рекультивацию. Однако подход имеет ограничения: требует учёта природных и техногенных условий, часто опирается на устаревшие данные и осложняется проблемами обращения с радиоактивными отходами.

Комплексный подход объединяет ключевые мероприятия — от радиационного обследования до обращения с отходами — и предусматривает непрерывный радиационный контроль на всех этапах. Дезактивацию проводят в соответствии с нормативами радиационной безопасности (НРБ). Сроки и методы зависят от уровня радиационной опасности.

В результате комплексный подход позволяет повысить экологическую безопасность, ресурсоэффективность и экономическую целесообразность технологий в атомной отрасли.

В докладе авторами будет рассмотрен комплексный анализ и разработка перспективных технологий в области реабилитации и рекультивации территорий ядерных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диордий М.Н., Чабанюк А.И. Практический опыт ФГУП «РАДОН» по выводу из эксплуатации ЯРОО и реабилитации территории // Радиоактивные отходы. –2020. – №2 (11). – С. 25-35.

Максимов Д.С.

ТЕХНОЛОГИИ МОДУЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА: ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

*Уральский технологический колледж НИЯУ МИФИ,
624250, г. Заречный, Свердловской обл., ул. Ленина, 27,
e-mail: urtk@mephi.ru*

Ключевыми преимуществами модульного строительства в атомной отрасли являются сокращение сроков строительства за счет параллельного изготовления модулей и подготовки площадки, минимизация рисков через стандартизацию производственных процессов, возможность легкой замены и модернизации оборудования, а также гибкость в адаптации к изменяющемуся спросу на энергию; возможность постепенного наращивания мощности, что особенно актуально для регионов с нестабильной энергетической ситуацией [1, 2].

В исследовании были проанализированы существующие технологии модульного строительства, изучен международный опыт реализации подобных проектов и оценены потенциальные риски. Практическая часть работы включала создание 3D-модели модульного реактора и разработку профориентационных материалов для школьников. Разработанный интерактивный комплекс включает викторину, игру «Атомный крокодил» для освоения терминологии и задания по идентификации элементов реактора. Такие формы работы способствуют формированию у учащихся понимания принципов работы ММР и их преимуществ по сравнению с традиционными реакторами.

Результаты исследования подтверждают перспективность внедрения модульных технологий в атомной энергетике, что может существенно повысить ее эффективность и конкурентоспособность на мировом энергетическом рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полякова М.О. Большие перспективы малых реакторов: почему они так популярны // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://strana-rosatom.ru/2019/05/02/bolshie-perspektivy-malyh-reaktorov>, свободный. (дата обращения: 05.11.2025).
2. Солер, А.В., Бертелеми М. Малые модульные реакторы: проблемы и перспективы// [Электронный ресурс]: Развитие и экономика ядерных технологий. – Режим доступа: https://www.rosatom.ru/upload/docs/Small_Modular_Reactors.pdf, свободный. (дата обращения: 01.11.2025).

Мамонтов А.А., Иванов М.Л.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65.
e-mail: anton.a.mamontov@gmail.com*

В условиях роста инвестиций в атомную генерацию сравнительный анализ экономической эффективности различных типов реакторов становится критически важным. В работе проведено сопоставление четырёх объектов: атомного ледокола «ЛК-60Я» (РИТМ-200), АЭС ОДЭК «Северск» (БРЕСТ-ОД-300), Чернобыльской АЭС (РБМК-1000) и АЭС «Касивадзаки-Карива» (BWR/ABWR).

На основе данных открытых источников рассчитаны капитальные (CAPEX) и эксплуатационные (OPEX) затраты, срок окупаемости (ROI) и уровень риска:

1) Самые высокие CAPEX — у АЭС «Касивадзаки-Карива» (27,5 млрд \$), самые низкие — у ледокола «ЛК-60Я» (755 млн \$).

2) Наименьший ROI — у «Касивадзаки-Карива» (6,41 лет), наилучший гипотетический ROI — у Чернобыльской АЭС (0,89 лет). Для «ЛК-60Я» расчётный ROI стремится к бесконечности, так как доход от генерации сопоставим с OPEX.

3) Наименьший уровень риска — у «ЛК-60Я» (25%), наибольший — у Чернобыльской АЭС (73%+) и «Касивадзаки-Карива» (70%).

Комплексная оценка по критериям «затраты–доходность–риски» показала, что наиболее сбалансированным проектом является АЭС с реактором БРЕСТ-ОД-300 (ОДЭК «Северск»). Данный тип реактора сочетает приемлемые капиталовложения, высокую доходность и управляемый уровень риска, соответствующий стандартам поколения III+.

Исследование подтверждает необходимость комплексного подхода при выборе ядерных технологий. Перспективными направлениями дальнейшей работы являются учёт полного жизненного цикла, анализ экономики малых модульных реакторов и моделирование перспективных установок IV поколения.

Наумов В.А., Грачев Е.К.

БАРЬЕРНО-ГЛИНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ОСОБЕННОСТИ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНО РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: naumovvladislav51105@gmail.com*

Барьерно-глинистые материалы представляют собой природные или искусственно модифицированные глинистые минералы, используемые для создания инженерных барьеров безопасности на объектах ядерного наследия. Их основная функция заключается в создании надежных преград, препятствующих проникновению радионуклидов в окружающую среду.

Целью исследования является изучение физико-химических свойств и механизмов взаимодействия барьерно-глинистых материалов с радионуклидами, а также оценка их эффективности при захоронении ядерно радиационно опасных объектов.

Миграция радионуклидов представляет серьезную угрозу для окружающей среды и здоровья населения. Основными путями проникновения радионуклидов в экосистему являются: проникновение грунтовых вод, разрушение контейнеров с РАО, нарушение целостности инженерных барьеров.

Факторы, влияющие на миграцию:

- 1) Тип грунта и его структура.
- 2) Гидродинамические условия местности.
- 3) Химические свойства радионуклидов.

Решение проблемы: Применение барьерно-глинистых материалов существенно снижает вероятность миграции радионуклидов, создавая надежный барьер между РАО и окружающей средой.

Существует несколько видов барьерно-глинистых материалов, каждый из которых предназначен для определенных целей:

- 1) Бентониты: характеризуются высоким уровнем набухаемости и способностью к формированию плотной массы.
- 2) Каолины: отличаются стабильностью и прочностью, подходят для создания многослойных барьеров.
- 3) Смеси на основе бентонитов и полимеров: повышают механическую прочность и долговечность барьеров.

Автором в этом докладе будут рассмотрены: основные виды барьерно-глинистых материалов и основные характеристики для барьерно-глинистых материалов.

Нерадовский В.А., Панфилова М.В.

ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: nera04@mail.ru*

Вывод из эксплуатации (ВЭ) - это документально оформленное событие, свидетельствующее о прекращении использования объекта в связи с демонтажом или с целью последующего проведения модернизации. [1]

Основными этапами вывода из эксплуатации главного циркуляционного насоса являются подготовительный этап, в который входит разработка детального проекта работ, оценка радиационной обстановки, планирование мер защиты; остановка и расхолаживание; демонтаж и фрагментация: отсоединение патрубков, демонтаж электродвигателя и корпуса насоса (оборудование часто разрезается на части для удобства упаковки); дезактивация; обращение с отходами: классификация, упаковка, маркировка и отправка на временное хранение или захоронение. Основные проблемы вывода из эксплуатации главного циркуляционного насоса: высокая радиоактивность, строгие требования к выводу, большие объёмы отходов, технологические и организационные сложности, высокая стоимость и длительные сроки. [2]

В ходе работы проектируется 3D модель сборки главного циркуляционного насоса. Для радиационно опасных объектов критически важны 3D-модели оборудования и помещений, которые включают визуальные и информационные элементы. Эти модели помогают обозначать радиационный фон, планировать вывод из эксплуатации, повышают безопасность и эффективность работы, а также экономят ресурсы и время, снижая дозовую нагрузку на персонал при работе с радиоактивными отходами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 21.11.1995 №170-ФЗ (ред. от 26.12.2024) «Об использовании атомной энергии» - 55 с.
2. НП-096-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к управлению ресурсом оборудования и трубопроводов атомных станций. Основные положения». Введ. 15.10.2015 – 10 с.

Неустроев Д.А.

НОВЫЙ СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОНДЕНСАТОРА АЭС

*Уральский технологический колледж - филиал НИЯУ МИФИ,
624250 г. Заречный, Свердловской обл., ул. Ленина 27
e-mail: urtk@mephi.ru*

При эксплуатации любой АЭС существует проблема, связанная с эксплуатацией конденсатора, в котором конденсируется пар из турбины. Пар охлаждается, проходя между трубок, по которым протекает охлаждающая жидкость из водохранилища.

С водой, которая протекает через трубки конденсатора, попадают частицы водорослей, икринки моллюсков и улиток, которые налипают на стенки трубок. Так как в конденсаторе тепло, водоросли и икринки начинают развиваться и увеличивать популяцию, тем самым засоряя оборудование. Это приводит к тому что, охлаждающая жидкость протекает медленнее и снижается ее теплопередача. В связи с этим, периодически приходится останавливать работу АЭС для прочистки трубок конденсаторов.

Современные методы очистки трубок конденсатора представляют собой физический способ очистки. Для этого способа, требуется остановить всю работу АЭС, что влечет за собой экономические последствия. После остановки, с помощью специального устройства, которое промывает трубки очень высоким давлением воды, счищаются все налеты и живые организмы, засорившие оборудование.

В своем исследовании я предлагаю способ, который может замедлить развитие процесс засорения и частично предотвратить эту проблему. Суть идеи заключается в том, чтобы использовать электрическое свойство электростатики и металлическую решётку, к которой будут притягиваться все мельчайшие частицы «биологического мусора», что будет препятствовать их попаданию в конденсатор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплотехнические основы производства электроэнергии и тепла на АЭС : учебное пособие / С. Т. Лескин, В. И. Слободчук, А. С. Шелегов, Д. Ю. Кашин. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2021. — 52 с. — Текст : электронный // ЭБС Лань. — URL: <https://e.lanbook.com/book/284414> (дата обращения: 05.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Орловский А.Е., Жабина А.М.

УТИЛИЗАЦИЯ ТВЁРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ (ТРО) МЕТОДОМ ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: orlovskiy_24@mail.ru*

Проблема обращения с твёрдыми радиоактивными отходами (ТРО) остаётся одной из наиболее острых в сфере ядерной энергетики и промышленной безопасности. По данным МАГАТЭ, объём накопленных ТРО в мире исчисляется сотнями тысяч кубометров, и их безопасное изолирование — ключевая задача для предотвращения радиационного загрязнения биосферы. Глубинный геологический метод утилизации рассматривается как наиболее перспективный долгосрочный способ изоляции высокоактивных отходов на сроки до сотен тысяч лет. Актуальность данной темы обусловлена ростом объёмов ТРО, вследствие развитой атомной энергетики, и необходимостью обеспечения экологической безопасности, исключаяющей риски для будущих поколений.

Цель данного исследования — проанализировать мировой опыт реализации глубинных хранилищ, оценить основные системы защиты и мониторинга окружающей среды в различных геологических условиях, рассмотреть данные, связанные с минимизацией миграции радионуклидов в экосистему.

В научном сообществе сложились две основные позиции: оптимистическая и критическая. Первая точка зрения поддерживается МАГАТЭ и ведущими ядерными державами: глубинные хранилища в стабильных геологических формациях способны обеспечить изоляцию ТРО на 100 лет. Вторая выражается экологическими организациями и частью учёных: невозможно достоверно прогнозировать поведение геологических систем на тысячелетние сроки, риски миграции радионуклидов и техногенных аварий недооценены.

Без системного решения, упомянутых выше задач, риск накопления отходов на поверхности остаётся критическим, что ставит под угрозу экологическое равновесие и здоровье людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин Е. В., Калакуцкий А. В., Морозов А. А. Технология захоронения радиоактивных отходов в пространстве подземных рудников // Радиоактивные отходы. 2021. №2 (15). С. 49—62. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-2-49-62.

Пытин А.О., Гридневский К.И., Хисматулин Н.С., Грачев Е.К.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И НОРМАТИВНЫХ БАЗ ДЛЯ ОСВОБОЖДЕНИЯ ОТ РЕГУЛИРУЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СЛАБОЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: Griimzz1@yandex.ru*

Обеспечение радиационной и экологической безопасности при обращении с металлическими радиоактивными отходами (РАО), образующимися на объектах атомной энергетики, является актуальной задачей, требующей комплексных решений.

Целью данного исследования стал анализ ключевых современных подходов, включая процедуры снятия с контроля (клиренса) слабозагрязнённых материалов, технологии глубокой переработки высокоактивных отходов, методы дезактивации поверхности и моделирование долгосрочных миграционных рисков.

В работе применялись методы анализа нормативной базы, разработки многоступенчатой процедуры радиационного контроля, исследования технологии индукционно-шлакового переплава в холодном тигле с флюсом системы Al_2O_3 - MgO - Fe_2O_3 - CaO , испытания метода химической дезактивации с использованием наноразмерного реагента. В результате была предложена эффективная процедура клиренса на основе последовательного скрининга по мощности дозы (порог >50 нГр/ч) и поверхностному загрязнению (порог $>0,8$ Бк/см²). Технология переплава позволила достичь очистки конструкционных материалов облучённых тепловыделяющих сборок до содержания делящихся материалов менее 0,001 мас.%. Метод дезактивации с наноразмерным реагентом и ультразвуковой очисткой обеспечил удаление загрязнения с глубины до 300 мкм с коэффициентом дезактивации до 1342. При этом установлено, что обновление термодинамических баз данных оказывает незначительное влияние на расчёты растворимости радионуклидов, но существенно изменяет коэффициенты их распределения (K_d) в геологической среде, что является критическим фактором для точного прогнозирования доз облучения от хранилищ РАО.

Авторами в докладе будут рассмотрены подходы снятия металлических радиоактивных объектов с контроля, технологии переработки высокоактивных отходов, а также методы дезактивации поверхности металлов.

Рубцов И.А., Пастухов А.М.

СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

*Производственное объединение „Старт“ имени М. В. Проценко,
Пензенская область, г.Заречный, Россия
e-mail: RUI2000@yandex.ru*

Спекл-интерферометрия представляет собой перспективный метод контроля качества поверхностей, основанный на анализе лазерных интерференционных картин с точностью измерений до 0,1 мкм. Данная технология позволяет эффективно выявлять микротрещины, дефекты обработки и неоднородности поверхностного слоя на ранних стадиях производственного процесса. Практическое применение метода демонстрирует сокращение времени контроля поверхностей на 40-60% при одновременном повышении надежности выпускаемой продукции на 25-30%. [1]

Метод успешно применяется для решения различных задач контроля качества, включая мониторинг состояния защитных покрытий, оценку однородности поверхностного слоя после механической обработки, выявление микроскопических дефектов в ответственных деталях. Высокая чувствительность метода позволяет обнаруживать повреждения на ранней стадии их развития.

Накопленный опыт промышленного применения подтверждает эффективность спекл-интерферометрии для контроля качества в микроэлектронике и точном машиностроении, что отражено в исследованиях [1-2]. Метод демонстрирует особую эффективность при диагностике поверхностей сложной геометрии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобко Ю. А., Синчугов И. С. Применение метода шерографии для дефектоскопии изделий из композиционных материалов // В мире неразрушающего контроля. 2015. №. 4. С. 4-7.
2. Симонова, Г. В., Симонов, Д. П. (2013). Разработка оптического метода контроля качества поверхности. Интерэкспо Гео-Сибирь, 5 (2), с. 62-66.

Сарлейский А.В., Копейкин А.Э., Михеева К.Н.

ПОСТРОЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО ГЕОМЕТРИИ ЛИЦА С ПРИВЯЗКОЙ К ЦИФРОВОМУ ПРОФИЛЮ

*Саровский физико-технический институт - филиал НИЯУ МИФИ,
607188, г. Саров, Нижегородской обл., ул. Духова, д. 6,
e-mail: alexander.sarleisky@yandex.ru*

Современные системы идентификации активно переходят от традиционных методов, таких как пароли и ключ-карты, к бесконтактным биометрическим технологиям. Однако большинство существующих решений ограничиваются простой верификацией, не реализуя потенциал персонализированного взаимодействия. Данная работа посвящена разработке программного комплекса, который связывает биометрические данные лица с гибким цифровым профилем, создавая платформу для интеллектуальных и адаптивных систем.

Основной задачей являлась не только реализация распознавания, но и решение ключевых инженерных проблем: точности и производительности. Для достижения высокой точности была применена нейросетевая модель на базе архитектуры ResNet (библиотека dlib) для преобразования лиц в 128-мерные векторы признаков (эмбеддинги). Точность системы была дополнительно повышена за счет внедрения метода усреднения эмбеддингов, полученных с нескольких эталонных снимков, что позволило создать единый, помехоустойчивый биометрический эталон для каждого пользователя.

Проблема производительности при работе в реальном времени была решена на архитектурном уровне. Система построена на основе многопоточного паттерна "Производитель-Потребитель" (QThread в PyQt5), что полностью разделяет ресурсоемкую обработку видео и отзывчивый графический интерфейс. Для обеспечения максимальной производительности была спроектирована архитектура с использованием аппаратного ускорения на GPU (NVIDIA CUDA), позволяющая применять более точный CNN-детектор на каждом кадре.

В результате был создан модульный и расширяемый программный комплекс с интуитивно понятным интерфейсом, способный служить основой для внедрения в корпоративные системы контроля доступа, образовательные учреждения и другие сферы, требующие персонализированной идентификации.

Серебрянников А.А., Карташов Е.Ю., Пилипенко А.М

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ УЗКОНАПРАВЛЕННЫХ ЗАДАЧ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: pprinxx@yandex.ru*

На сегодняшний день использование роботизированных систем в атомной отрасли становится ключевым инструментом обеспечения промышленной, радиационной и эксплуатационной безопасности, особенно при работах в зонах с повышенными дозовыми нагрузками и ограниченным доступом для персонала. Актуальной задачей в атомной отрасли является разработка роботизированных средств, способных обеспечивать проведение комплексного инженерного и радиационного обследования (КИРО) объектов, подлежащих выводу из эксплуатации, с минимальным участием человека. Такие роботы должны выполнять дистанционный сбор данных о техническом состоянии зданий, сооружений, трубопроводов и технологического оборудования, а также о радиационной обстановке.

Цель работы – разработать аппаратно-программный роботизированный комплекс на базе мобильной платформы с интегрированными системами навигации, технического зрения и датчиками для отбора и первичного анализа проб, обеспечивающий дистанционный мониторинг и исследование труднодоступных зон. В рамках основной части выполняется анализ существующих робототехнических систем, выбор и обоснование конструкции шасси, компоновки сенсоров и исполнительных механизмов, а также разработка алгоритмов автономного движения, сбора данных и передачи информации оператору. Дополнительно рассматриваются требования к надежности, автономности питания и адаптации комплекса к различным условиям эксплуатации.

Выполняемая работа включает проектирование механической части робота, подбор и интеграцию электронных компонентов, разработку схемы управления и программного обеспечения для реализации функций мониторинга, отбора проб и анализа параметров окружающей среды. Планируется изготовление и испытание опытного образца, проведение серии экспериментов в условиях, имитирующих труднодоступные пространства (трубы, замкнутые полости, техногенные объекты).

Скоц А.В., Грачев Е.К.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУГР АД И АДЭ – 1 НА ФГУП «ГХК»

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: alexskots@gmail.com*

В настоящее время вывод из эксплуатации на предприятии ФГУП «ГХК» производится согласно федеральной целевой программе «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2035 года», основной задачей которой является Комплексное обеспечение ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации путем решения первоочередных проблем ядерного наследия [1]. В рамках программы завершается масштабный проект по выводу из эксплуатации двух промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) АД и АДЭ-1.

Основным предприятием на территории ФГУП «ГХК», осуществляющим вывод из эксплуатации ПУГР АД И АДЭ – 1 является производство по выводу из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов [2].

Применяемая технология вывода из эксплуатации путем «захоронения на месте» была запатентована специалистами «ГХК» в 2010 г., за что комбинат получил множество наград как на международных, так и на всероссийских конкурсах и выставках. Эта технология предполагает создание необходимой инфраструктуры и поэтапное заполнение барьерным материалом как пространства и схем самого реактора, так и прилегающих внереакторных помещений.

Прогнозируемая доза облучения населения, проживающего в основании склона горы и занимающегося сельскохозяйственной деятельностью, не превысит 0,01 мЗв/год, что на порядок ниже установленных пределов (0,1 мЗв/год).

В докладе будет более подробно представлен анализ процесса вывода из эксплуатации ПУГР АД и АДЭ – 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общие сведения // ФЦП ЯРБ-2 – Режим доступа: <https://фцп-ярб.рф/about/overview/>
2. Производство по выводу из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов // ФГУП «ГХК» Режим доступа: https://sibghk.ru/static-page/view?id_category=8&id=22

Татарина С.А., Карташов, Е.Ю.

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНО И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: sofya.tatarinova.04@gmail.com*

С развитием технологий и увеличением объема ядерных и радиационно опасных объектов, находящихся на стадии вывода из эксплуатации, возникает необходимость в разработке и внедрении специализированных робототехнических комплексов. Эти комплексы повышают уровень промышленной безопасности и экологической защищенности, а также обеспечивают экономическую эффективность проектов вывода из эксплуатации посредством сокращения сроков выполнения работ, снижения трудозатрат и оптимизации логистики в экстремальных условиях.

Вывод из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов — это сложный и многоэтапный процесс, который включает в себя дезактивацию, демонтаж оборудования, утилизацию отходов и восстановление территории. В условиях радиационной опасности традиционные методы работы могут быть не только неэффективными, но и опасными для здоровья работников. Робототехнические системы позволяют выполнять опасные операции дистанционно, что значительно снижает риск воздействия радиации на людей.

Современные робототехнические комплексы обладают высокой степенью автономности и могут быть оснащены различными инструментами и датчиками, позволяющими выполнять широкий спектр задач: от обследования объектов до выполнения сложных манипуляций с радиоактивными материалами. Их использование способствует не только улучшению условий труда, но и сокращению сроков выполнения работ, снижению затрат и повышению общей эффективности процесса вывода из эксплуатации.

Таким образом, робототехнические комплексы представляют собой важный элемент в стратегии безопасного и эффективного управления утилизацией ядерных отходов и проведением монтажных работ ядерно и радиационно опасных объектов. В данной работе будет рассмотрен обзор существующих технологий, их применение, преимущества и недостатки.

Ткачук С.Р., Сорокин Р.И., Грачев Е.К.

МАЛЫЕ МОДУЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ (SMR) АНАЛИЗ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ SMR

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: Stepatka@mail.ru*

Развитие малых модульных реакторов (ММР, SMR) является стратегическим направлением современной российской ядерной энергетики, что отражено в «Программе развития техники и технологий в области использования атомной энергии». Ключевым преимуществом современных проектов ММР, является заложенный в их концепцию глубокоэшелонированный подход к безопасности с широким использованием пассивных систем (ПС), функционирующих на неизменяемых в течение длительного времени физических принципах.

Пассивные системы должны обеспечивать выполнение функций безопасности в течение не менее 72 часов без вмешательства персонала и внешних источников энергии. Анализ показывает, что в проектах ММР ПС реализуют несколько ключевых функций: аварийный останов реактора (пассивные поглотители на основе пружин или гравитации), отвод остаточного тепловыделения через естественную циркуляцию и пассивные теплообменники, аварийное питание и охлаждение бассейна выдержки.

Качественное отличие ПС ММР от реакторов большой мощности заключается в большей доле запаздывающего тепловыделения на единицу мощности и компактности компоновки, что способствует эффективному пассивному отводу тепла. Однако анализ уязвимостей выявляет и потенциальные проблемы: возможную деградацию характеристик теплообмена в долгосрочном периоде, влияние неконденсирующихся газов в парогенераторах, необходимость учёта комбинированных внешних воздействий.

Перспективы развития связаны с проектами ММР 4-го поколения, где пассивная безопасность является абсолютным приоритетом. Для их обоснования требуется дальнейшее развитие методов вероятностного анализа безопасности (ВАБ) и создание экспериментальной базы, подтверждающей надёжность ПС в любых сценариях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драгунов Ю.Г., Степанов В.С., Климов А.Н. Малые и средние реакторы: состояние и перспективы – М.: НИКИЭТ, 2019. – 156 с. – С. 45,48-50.

Федотова М. А., Винныйчук В.А.

ПЕРСПЕКТИВЫ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ WAAM В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

*Волгодонской инженерно-технический институт,
347360, г. Волгодонск, Ростовской обл., ул. Ленина, 73/94
e-mail: mariamfedotov@gmail.com*

Технология WAAM основана на использовании электрической дуги в качестве источника тепла для плавления металлической проволоки с последующим формированием изделия посредством послойного наложения материала. В качестве присадочного материала используется цельная проволока, что расширяет номенклатуру применяемых сплавов (аустенитные стали, титановые, алюминиевые, медные сплавы) по сравнению с рядом порошковых методов.

Технология WAAM обладает значительным научно-техническим и экономическим потенциалом для применения в атомной энергетике, прежде всего в сфере восстановительного ремонта и гибкого производства.

WAAM позволяет оперативно изготавливать нестандартные или снятые с производства детали (корпуса арматуры, элементы крепежа, корпусные конструкции) по цифровым моделям, что актуально для задач импортозамещения. Также возможно производство специализированной технологической оснастки. Наиболее перспективным направлением является интеграция WAAM и субтрактивной механической обработки (фрезерование, точение) в рамках единого технологического комплекса. Это позволяет изготавливать детали со сложной внутренней архитектурой (например, элементы теплообменников с каналами охлаждения), обеспечивая при этом высокие требования к точности размеров и качеству поверхности.

Приоритетными направлениями дальнейших исследований являются проведение комплексных опытно-промышленных работ, разработка цифровых двойников процессов WAAM для критических компонентов и создание специализированных материалов, адаптированных к условиям эксплуатации на АЭС. Успешное решение этих задач в среднесрочной перспективе (5-10 лет) позволит интегрировать WAAM в арсенал стандартных технологий атомной отрасли.

Яковьюк Е.О., Заринова Л.Ф.

ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ДЕЗАКТИВАЦИЯ АЛЮМОСОДЕРЖАЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: yakovuk.egor@yandex.ru*

В последнее время в вопросе обращения с радиоактивными отходами (РАО) большое внимание уделяется переработке металлических радиоактивных отходов, позволяющей снизить класс РАО, уменьшить их объем и вернуть часть материала в хозяйственный оборот в рамках атомной отрасли.

Целью данной работы являются исследования изменения активности алюмосодержащих отходов, полученных в результате деятельности промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) Сибирского химического комбината при использовании метода пирометаллургической дезактивации.

Исследования проводились на площадке АО «ОДЦ УГР». В качестве материала были отобраны авиалеваеые блоки, представляющие собой цилиндр диаметром 36 мм, высотой 102,5 мм и массой 235 г, выполненные из сплава алюминий-магний-кремний с небольшим содержанием примесей. Процесс пирометаллургической дезактивации заключается в расплавление образцов с последующим флюсовым рафинирование жидким хлоридом или хлоридно-фторидным флюсом, при котором неметаллические включения самопроизвольно переходят из металла во флюс, благодаря различиям в смачиваемости контактирующих фаз.

Так были выделены основные изотопы, составляющие основную активность образцов: Cs-137, Co-60 и Eu-152. Установлено, что при переплавке с флюсом достигаются следующие коэффициенты дезактивации: Cs-137 – от 25 до 100, Co-60 – от 9 до 16 и Eu-152 – от 0,0003 до 3.

СЕВЕРСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
НИЯУ МИФИ

Научное электронное издание

ИННОВАЦИИ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ:
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

*Всероссийская научно-практическая конференция студентов,
аспирантов и молодых ученых*

15-19 декабря 2025 г.

Материалы конференции

Научный редактор: профессор, доктор физико-математических наук
М.Д. Носков

Компьютерное макетирование и набор текста:
Э.Д. Чехович

