

Всероссийская конференция
**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ
ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

18-22 мая 2026г.

Материалы конференции

г. Северск

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

СЕВЕРСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ
ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Всероссийская конференция
18 - 22 мая 2026 г.**

Материалы конференции

СЕВЕРСК 2026

УДК 621.039
А 437

Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий: всероссийская конференция, 18-22 мая 2026 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, 2026. – 104 с. – Текст (визуальный): электронный

ISBN 978-5-93915-146-7

Сборник включает материалы конференции «Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий». Приводятся научные и практические результаты исследований, связанных с проблемами развития атомного энергопромышленного комплекса, включая вопросы совершенствования химической технологии, автоматизации технологических процессов и применения современных информационных технологий в атомной промышленности.

Для специалистов, работающих в атомной отрасли, а также студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специальностей.

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

ISBN 978-5-93915-146-7

© Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, 2026

Настоящий сборник содержит тезисы докладов Всероссийской конференции «Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий», которая проходила в Северском технологическом институте Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» с 18 по 22 мая 2026 года. На секциях конференции обсуждались химические технологии ядерного топливного цикла, современные материалы и технологии атомной отрасли, вопросы автоматизации, робототехники, математического моделирования и цифровизации процессов и объектов атомной отрасли. В работе конференции приняли участие более 100 учёных, преподавателей, аспирантов и студентов НИЯУ МИФИ, ТПУ, НГТУ ТГАСУ, ГНЦ НИИАР, ИБРАЭ РАН, ИФПМ СО РАН, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», а также специалисты предприятий атомной отрасли: АО «СХК», АО «Атомэнергопроект», АО «ОДЦ УГР», АО «НИКИЭТ», АО «ТВЭЛ», ООО НПК «ВАБ-70», ФБУ «НТЦ ЯРБ».

Надеемся, что данный сборник будет полезен для работников производства, науки, высшей школы, а также аспирантов и студентов, выполняющих исследования в интересах атомной отрасли.

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

М.Д. Носков

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| <i>Секция Химические технологии ядерного топливного цикла</i> | 13 |
| Аранжин Д.А., Гузеева Т.И., Маркелова Д.В., Зеличенко Е.А. СОЗДАНИЕ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА И ПРИРОДНЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ БИОИМПЛАНТОВ | 14 |
| Башкирова А.П., Панихин В.С., Богданова С.А., Молокова Т.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФТОРИД-ИОНОВ..... | 15 |
| Бойцова А.Н., Погляд С.С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВАРИАНТОВ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАВШЕГО ЭКСТРАГЕНТА PUREX-ПРОЦЕССА | 16 |
| Бурмистрова А.А. ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОТРАБОТАННОГО ТОПЛИВА НА ОДЭК БРЕСТ-300 | 17 |
| Буткеева М.А., Муслимова А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛЕНТНЫХ ФОРМ ЦЕРИЯ..... | 18 |
| Ворожейкин С.Е., Ожерельев О.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ HSC CHEMISTRY В ИЗУЧЕНИИ СУБЛИМАЦИИ ЯДЕРНО-ЧИСТОГО ФТОРИДА ЦИРКОНИЯ | 19 |
| Горелов А.В., Дмитриева О.С., Погляд С.С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВАРИАНТОВ ПЕРЕВОДА ОБЛУЧЁННОГО МАВЭЛА В ПРИГОДНУЮ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ФОРМУ НА ИМИТАТОРАХ..... | 20 |
| Дешина М.В., Богданова С.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДОБАВОК ПРИ АНАЛИЗЕ РАСТВОРОВ СЛОЖНОГО СОЛЕВОГО СОСТАВА | 21 |
| Дяденис М.Ю., Зеличенко Е.А., Охотникова Е.П., Чубенко Я.Б., Гузеева Т.И. ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КРЕМНИЯ НА ПАТТЕРН БИОАКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ | 22 |

| | |
|---|----|
| Жабина А.М., Сарапова С.Ю., Кикенина И.К., Широков А.В., Грачев Е.К. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВ ОКСИДОВ РЗЭ ПРИ РЕЦИКЛИРОВАНИИ ОТРАБОТАВШИХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ Nd ₂ Fe ₁₄ B | 23 |
| Захарова П.Т., Денисов Е.С., Ченцов Ф.А., Молоков П.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ Nd(III) В РАСТВОРАХ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ РАЗНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ | 24 |
| Искужин Б.Э., Терехова А.А., Муслимова А.В. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДОВ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ОТ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ..... | 25 |
| Кравченко Е.В., Чубенко Я.Б., Зеличенко Е.А., Гузеев В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ХИТОЗАНСОДЕРЖАЩИХ ГРАНУЛ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ХИТОЗАНА..... | 26 |
| Кузнецова О.В., Богданова С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТРИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРИДОВ | 27 |
| Лялина Н.А., Житков С.А., Ткачук С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОТРУБОК НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОКСА | 28 |
| Маркелова Д.В., Зеличенко Е.А., Аранжин Д.А., Чубенко Я.Б. ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО КОЛЛАГЕНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА КОСТНОЗАМЕЩАЮЩЕГО МАТЕРИАЛА..... | 29 |
| Михалев Р.Ю., Кикенина И.К., Саулов К.А., Грачев Е.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ РЗЭ ВЫДЕЛЕННЫХ МЕТОДОМ ДРОБНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ | 30 |
| Нетфуллова И.И., Семенова А.С., Погляд С.С., Капралов Д.А., Горелов А.В., Шалимова А.И., Никонов К.А. ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ..... | 31 |
| Охотникова Е.П., Гузеева Т.И. СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГИДРОКСИАПАТИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО СЕРЕБРОМ И ЦИНКОМ..... | 32 |

| | |
|--|----|
| Панихин В.С., Башкирова А.П., Богданова С.А., Молокова Т.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРИДОВ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ | 33 |
| Петренко А.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКАРБОНФТОРИДОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОТОЧНОМ МНОГОУРОВНЕВОМ РЕАКТОРЕ ФТОРИРОВАНИЯ | 34 |
| Сарапова С.Ю., Жабина А.М., Кикенина И.К., Широков А.В., Грачев Е.К. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ СОВМЕСТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЗЭ И ЖЕЛЕЗА В ПРОДУКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШИХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ ND2FE14B МЕТОДОМ ДРОБНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ | 35 |
| Семенова А.С., Нетфуллова И.И., Погляд С.С., Замалтдинова А.Р., Пронин С.А., Полознева В.В. РАСТВОРЕНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ МЕТОДОМ ФЕНТОНА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ИММОБИЛИЗАЦИЕЙ В ЦЕМЕНТНУЮ МАТРИЦУ | 36 |
| Семенычева А.Н., Шелихова Е.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТОНКОСЛОЙНОЙ РАДИОХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ | 37 |
| Aranzhin D.A., Guzeeva T.I., Zelichenco E.A., Markelova D.V., Kazantseva T.Yu. REVIEW STUDY OF THE COMPOSITIONS OF BONE SUBSTITUTE MATERIALS APPLIED IN THREE- DIMENSIONAL PRINTING | 38 |
| Bashkirova A.P., Panikhin V.S., Bogdanova S.A., Molokova T.A., Kazantseva T.Yu. QUANTITATIVE DETERMINATION OF FLUORIDE IONS BY HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY | 39 |
| Boytsova A.N., Poglyad S.S. EXPERIMENTAL VERIFICATION OF DISPOSAL OPTIONS FOR SPENT PUREX PROCESS EXTRACTANT | 40 |
| Denisov E.S., Zakharova P.T., Molokov P.B., Chentsov F.A., Kazantseva T.Yu. CHEMOMETRIC ANALYSIS OF SPECTROPHOTOMETRIC DATA TO DETERMINE THE COMPOSITION OF TRANSITION METAL MULTICOMPONENT MIXTURES IN NITRIC ACID MEDIA | 41 |

| | |
|---|----|
| Markelova D.V., Aranzhin D.A., Zelichenko E.A., Guzeeva T.I., Chubenko Ya.B., Kazantseva T.Yu. SYNTHESIS OF A COMPOSITE BIOMATERIAL FOR 3D PRINTING OF BONE SUBSTITUTE IMPLANTS | 42 |
| Panikhin V.S., Bashkirova A.P., Bogdanova S.A., Molokova T.A., Kazantseva T.Yu. APPLYING HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY TO DETERMINE FLUORIDES | 43 |
| Saulov K.A., Lozhkomoev A.S., Kazantsev S.O., Kazantseva T.Yu. MODIFICATION OF POROUS TiO ₂ WITH Ag NANOPARTICLES ... | 44 |
| Sklyarova K.N., Kiskina A.A., Ageeva L.D., Kazantseva T.Yu. DETERMINATION OF THE DETECTION LIMIT FOR HEAVY METALS IN AQUEOUS SOLUTIONS BY EDXRF SPECTROMETRY | 45 |
| Vorozheikin S.E., Ozhereliev O.A., Kazantseva T.Yu. STUDY OF NUCLEAR-PURE ZIRCONIUM FLUORIDE SUBLIMATION BY HSC CHEMISTRY SOFTWARE | 46 |
| Zakharova P.T., Denisov E.S., Chentsov F.A., Molokov P.B., Kazantseva T.Yu. DEVELOPMENT OF THE GAS CHROMATOGRAPHIC METHOD ANALYZING IMPURITIES IN GASEOUS CHLORINE | 47 |
| <i>Секция Материалы и технологии атомной отрасли</i> | 48 |
| Антонов Н.А., Михальченко А.П., Подосинников А.А., Решетин В.Л. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ, ИЗМЕРЕНИЙ И МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ОПТОВОЛОКОННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕСУРСНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ГРАФИТОВЫХ КЛАДКОВ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК РБМК-1000 | 49 |
| Арендаренко Г.О., Зарипова Л.Ф. ДЕМОНТАЖ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯРОО | 50 |
| Воронин С.Ю., Хахалев М.С., Жабина А.М., Грачёв Е.К. СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАКОПЛЕНИЯ НАВЕДЁННОЙ АКТИВНОСТИ..... | 51 |
| Гридневский К.И., Карташов Е.Ю. РОБОТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЫВОДИМЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ | 52 |

| | |
|--|----|
| Жабина А.М., Воронин С.Ю., Хахалев М.С., Грачёв Е.К. РАЗРАБОТКА МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ ДЛЯ МОДУЛЯ СОРТИРОВКИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ | 53 |
| Мехряков И.К., Носков М.Д. ДЕГРАДАЦИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СРЕДЫ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА | 54 |
| Орловский А.Е., Зарипова Л.Ф. РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОИАЭ | 55 |
| Пытин А.О., Карташов Е.Ю. РАЗРАБОТКА НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДЕМОНТАЖА ГРАФИТОВОЙ КЛАДКИ . | 56 |
| Смирнов М.А., Зарипова Л.Ф. ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯРОО | 57 |
| Ткачук С.Р., Зарипова Л.Ф. ВЫПОЛНЕНИЕ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ “ДУК” | 58 |
| Хахалев М.С., Жабина А.М., Воронин С.Ю., Федянин А.Л., Грачев Е.К. ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЛЬТА-РОБОТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕЗАКТИВАЦИИ | 59 |
| Хисматуллин Н.С., Карташов Е.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ, С РАЗВИТОЙ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ | 60 |
| Чуваева Е.А. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ | 61 |
| Gridnevskyj K.I., Kartashov E.Yu., Kineva T.A. COMPARATIVE ANALYSIS OF ROBOTIC SYSTEMS FOR MONITORING DECOMMISSIONED NUCLEAR ENERGY FACILITIES | 62 |
| Khakhalev M.S., Zhabina A.M., Voronin S.Y., Fedyanin A.L., Grachev E.K., Kineva T.A. APPLICATION OF DELTA ROBOTS FOR DECONTAMINATION PROCESSES | 63 |
| Kupri A.A., Kartashov E.Yu., Kineva T.A. USE OF DETECTORS ON UNMANNED AERIAL VEHICLES TO MONITORE RADIATION-HAZARDOUS FACILITIES | 64 |
| Voronin S.Y., Zhabina A.M., Khakhalev M.S., Grachev E.K., Valeeva E.V. MATHEMATICAL MODEL FOR INDUCED ACTIVITY ACCUMULATION | 65 |

- Zhabina A.M., Voronin S.Yu., Khakhalev M.S., Grachev E.K., Kazantseva T.Yu. OPTIMIZATION OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT BY AUTOMATED SORTING TECHNOLOGIES 66
- Секция Автоматизация, робототехника и техническая кибернетика* 67
- Бондарев А.Е., Логинова Е.С. ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ АТОМНОЙ СТАНЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ 68
- Борисов Д.А., Федянин А.Л., Подосинников В.В., Мельникова Н.А. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАСТИНЫ С ДЕФЕКТАМИ МЕТОДАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ 69
- Буткеев К.А., Иванов К.А. МОДЕРНИЗАЦИЯ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ЦТК С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РЕГИСТРАЦИИ И СИГНАЛИЗАЦИИ 70
- Ворнаков Н.А., Иванов К.А., Троценко В.П. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ЗНАЧЕНИЯ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ФТОРА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗАХ НА ВХОДЕ И ВЫХОДЕ ПЛАМЕННОГО РЕАКТОРА 71
- Демьянов А.В., Кимяев С.А., Кубасов А.А., Некрасов М.В., Тимонин С.В., Царёва Т.В., Шуркаев А.В., Юнин Д.А., Головина Е.А. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СЛИВА-ЗАЛИВА ТОПЛИВНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК РАСТВОРНОГО ТИПА 72
- Иванов К.А., Леонович И.А., Прокопенков А.П. СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ШКАФА АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ КАФЕДРЫ ЭИАФУ 73
- Косов П.А., Иванов К.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТРУБНОЙ ГАЛЕРЕЕ 74

| | |
|--|----|
| Лукин М.Д., Рожко А.В. БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ БДПТ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ..... | 75 |
| Палашков И.И., Иванов К.А. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВАРИАТИВНОГО ШИФРОВАНИЯ..... | 76 |
| Плюсков Е.И., Симонов А.С., Иванов К.А. СИСТЕМА ИММЕРСИОННОГО ОБУЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОМУ КОНТРОЛЮ В VR-ПРОСТРАНСТВЕ ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ..... | 77 |
| Подосинников В.В., Борисов Д.А, Федянин А.Л., Мельникова Н.А. О РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ЦВЕТОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ БИБЛИОТЕКИ OPENCV | 78 |
| Симонов А.С., Плюсков Е.И., Иванов К.А. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖУ | 79 |
| Симонов Е.С., Иванов М.Л. ДВУНАПРАВЛЕННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ | 80 |
| Смирнова Т.Л., Боков Г.А. ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В РЕГИОНЕ | 81 |
| Смирнова Т.Л., Волкомирская И.А. ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ БИЗНЕС-ПЛАНА | 82 |
| Смирнова Т.Л., Дружинина О.Н. ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ ВИДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ «ТДСК»..... | 83 |
| Смирнова Т.Л., Дюкарев Г.А. СТРАТЕГИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ГК «РОСАТОМ»..... | 84 |
| Смирнова Т.Л., Сидоренко А.В. ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛИТЕТА | 85 |
| Смирнова Т.Л., Скворцов К.Н. АУДИТ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ | 86 |

| | |
|--|-----------|
| Смирнова Т.Л., Харламова И.А. РИСКИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ | 87 |
| Смирнова Т.Л., Михеев Г.К. ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРЕДПРИЯТИЯ | 88 |
| Смирнова Т.Л., Суховейко С.С. ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕРЕЖЛИВЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ ПРЕДПРИЯТИЯ..... | 89 |
| Смирнова Т.Л. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА..... | 90 |
| Bondarev A.E., Loginova E.S., Kineva T.A. THE STABILITY OF REGIONAL ENERGY SYSTEMS INFLUENCED BY NUCLEAR POWER PLANT OPERATION | 91 |
| Glushkov I.E. DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR THE DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC 51 FREQUENCY CONVERTER FOR PROCESS AUTOMATION | 92 |
| Sukhov A.V., Loginova E.S., Kineva T.A. DEVELOPMENT OF ELECTRICITY METERING SYSTEM FOR NUCLEAR POWER INDUSTRY | 93 |
| <i>Секция Математическое моделирование, информационные системы и цифровизация процессов и объектов атомной отрасли</i> | <i>94</i> |
| Березин А.А., Гуцул М.В., Истомин А.Д., Носков М.Д., Чеглоков А.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ..... | 95 |
| Березин А.А., Носков М.Д., Истомин А.Д., Чеглоков А.А. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТА РВР НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ | 96 |
| Захаров Р.А., Носков М.Д. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ | 97 |
| Курмель Г.В., Носков М.Д. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ | 98 |

| | |
|---|-----|
| Мамонтов А.А., Иванов М.Л. ОБЩИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ..... | 99 |
| Никитин А.В., Иванов М.Л., Щипков А.А. ПРИМЕНЕНИЕ СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ МАШИН НА БАЗЕ ЯЗЫКА PYTHON..... | 100 |
| Спицын В.С., Нечкина А.С. РАСЧЁТ ПОТЕНЦИАЛОВ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ..... | 101 |
| Чернов Д.А., Иванов М.Л. ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ОТ ВРЕМЕНИ ОБУЧЕНИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ПРИМЕРЕ YOLOv8..... | 102 |
| Шляхов Ф.С., Иванов М.Л. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ И АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЁТА ПОСЕЩАЕМОСТИ В ИНСТИТУТЕ | 103 |

*Секция
Химические технологии ядерного топливного цикла*

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

СОЗДАНИЕ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА И ПРИРОДНЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ 3D- ПЕЧАТИ БИОИМПЛАНТОВ

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

Технология 3D-печати позволяет изготавливать биоимпланты сложной конфигурации, соответствующие форме костных дефектов. При послойном формовании особо важно, чтобы используемый материал сохранял свою структуры и благоприятную среду для проникновения клеток.

Гидроксиапатит (ГА), являющийся ключевым минеральным компонентом костной ткани человека, широко применяется в костной имплантологии, благодаря своим osteoconductive и биосовместимым свойствам. Однако его применение в чистом виде для 3D-печати ограничено из-за высокой хрупкости [1]. Для преодоления этого ограничения ГА интегрируется в полимерные композиции. Это позволяет получать пластичные пасты, пригодные для аддитивного производства, и формировать после отверждения прочные, но не хрупкие импланты. Композиты на основе гидроксиапатита и хитозана являются предметом активных исследований в области костной имплантологии.

Хитозан обеспечивает антибактериальный эффект, способствует адгезии клеток и обладает биodegradability. Альгинат натрия, при сшивке ионами кальция, образует гидрогелевую структуру, стабилизирующую форму напечатанного изделия. Аналогичными реологическими свойствами обладает карбоксиметилцеллюлоза, обеспечивающая стабильность пасты и предотвращающая расслоение композиции с гидроксиапатитом. Каждый из этих полимеров может быть использован в составе композиции с гидроксиапатитом для получения паст, пригодных для 3D-печати.

С целью определения наиболее подходящего состава для дальнейшей трёхмерной печати биоимплантов на основе ГА и природных полимеров в докладе будут представлены условия и результаты эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суходуб Л.Ф., Суходуб Л.Б., Чорна И.В. Хитозан-апатитные композиты: синтез и свойства // Биополимеры и клетка. - № 2. – 2016.-83-97 с.

Баширова А.П., Панихин В.С., Богданова С.А., Молокова Т.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФТОРИД-ИОНОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: anzhelika.bashkirova14@yandex.ru*

На предприятиях ядерного топливного цикла (ЯТЦ) серьезную проблему представляет коррозия металлов под воздействием агрессивных химических сред. Фторид-ионы обладают высокой активностью и способны быстро разрушать конструкционные материалы, что делает их точное определение в растворах обязательным. Постоянный мониторинг содержания фторидов позволяет не только предотвратить износ дорогостоящего оборудования, но и обеспечить стабильность технологического процесса получения фтористого водорода.

Оптимальным методом для решения данной задачи является высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), главное преимущество которой заключается в возможности быстрого и точного разделения целевых компонентов в пробах сложного состава. Важной особенностью ВЭЖХ является применимость к термически нестабильным и нелетучим соединениям, которые широко распространены в технологических циклах химических производств и не могут быть проанализированы методами газовой хроматографии.

Экспериментальная часть работы выполнялась с применением аналитического комплекса «Стайер-М». Процесс разделения пробы на отдельные компоненты осуществлялся при прохождении через специализированную хроматографическую колонку. Для повышения чувствительности определения фторид-ионов была задействована система подавления фоновой электропроводности. Работа супрессора на растворе серной кислоты позволила минимизировать посторонние сигналы от элюента, что обеспечило получение четких пиков и высокую чистоту аналитического отклика.

Достоверность методики верифицирована путем градуировки по стандартным растворам, приготовленным из ГСО фторид-ионов концентрацией 1 мг/см³. Построенная модель продемонстрировала строго линейную зависимость с коэффициентом корреляции 0,9999.

В докладе будут подробно представлены принципы работы системы и результаты анализа реальных объектов.

Бойцова А.Н., Погляд С.С.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВАРИАНТОВ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАВШЕГО ЭКСТРАГЕНТА PUREX- ПРОЦЕССА

*Димитровградский инженерно-технологический институт НИЯУ
МИФИ, 433511, Ульяновская обл., г. Димитровград, ул. Куйбышева,
д.294, e-mail: al.boytsova@mail.ru*

Проблема накопления в Мире отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) усугубляется ростом интереса к атомной энергетике и признанием ее «зеленой». Успешная переработка части ОЯТ ведётся по водно-экстракционной технологии; большинство её вариантов и модификаций базируется на PUREX-процессе, разработанном более 70 лет назад.

В качестве экстрагента применяется 30% раствор трибутилфосфата (ТБФ) в разбавителе, в качестве которого чаще всего применяют н-додекан. В ходе переработки ОЯТ экстрагент подвергается воздействию облучения, что приводит к его деградации. ТБФ возможно регенерировать промывкой содовым раствором, в разбавителе же накапливаются лаурилутилфос-форная кислота, гидроксамовые кислоты, оксимы и енолы. Это требует периодической утилизации экстрагента. Попытки внедрения его сжигания либо пиролиза проблемы не решились: сложные системы газоочистки и утилизация фильтров не привели к снижению объема РАО.

В рамках работы экспериментально проверен вариант разложения отработавшего экстрагента гидролизом в растворах муравьиной, щавелевой и ортофосфорной кислоты без введения окислителя. Гидролиз проводился при контролируемой температуре в аппарате с обратным холодильником. Изменение содержания ТБФ оценивали методом ИК-спектроскопии по пику 1025 см⁻¹, отвечающему валентным колебаниям связи Р–О–С, характерные для ТБФ, а также для продуктов его частичного гидролиза – дибутылфосфата (ДБФ) и монобутилфосфата (МБФ).

Полученные результаты, в первую очередь с использованием муравьиной кислоты, подтверждают принципиальную возможность разложения ТБФ методом кислотного гидролиза в мягких условиях (атмосферное давление, температура 80–100°С). Отсутствие окислителя снижает взрыво- и пожароопасность, но не позволяет полностью разложить разбавитель.

Бурмистрова А.А.

ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОТРАБОТАННОГО ТОПЛИВА НА ОДЭК БРЕСТ-300

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: loginli2015@gmail.com*

Быстрый реактор естественной безопасности со свинцовым теплоносителем – российский проект реакторов на быстрых нейтронах. Проект реализуется в виде строительства опытного демонстрационного комплекса. Комплекс состоит из экспериментального реактора БРЕСТ-ОД-300, фабрикации топлива в замкнутом ядерном топливном цикле и завода по переработке отработанного ядерного топлива.

Сутью замкнутого ядерного топливного цикла является в преобразовании изотопа урана-238, который не способен к цепной реакции, в изотоп плутония-239. Происходит это за счет облучения урана-238 быстрыми нейтронами в ядерном реакторе.

Реактор является установкой бассейнового типа. Шахта реактора из теплоизоляционного бетона, залитая свинцом, в который опущена активная зона. Конструкция реакторной установки обеспечивает локализацию течи теплоносителя в пределах корпуса реактора и исключает осушение активной зоны.

Модуль фабрикации позволяет работать как с исходным сырьем, так и с продуктами переработки отработанного ядерного топлива данного реактора. В перспективе модуль предусматривает включение минорных актинидов в топливо для их последующей трансмутации.

Реакторы на быстрых нейтронах станут воплощением концепции естественной безопасности. Свинцовый теплоноситель исключает риски течи и осушения активной зоны благодаря высокой температуре плавления.

Эра тепловых реакторов с открытым топливным циклом, при всех их достоинствах, исчерпала потенциал для решения главных проблем атомной отрасли. БРЕСТ-ОД-300 решает проблему ограниченности ресурсов и накопления долгоживущих радиоактивных отходов. В данной модели реактора отходы одного цикла становятся топливом для другого, превращая уран-238 в основной энергоресурс. А также, не захоранивать опасные минорные актиниды, а дожигать их в активной зоне реактора.

Буткеева М.А., Муслимова А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛЕНТНЫХ ФОРМ ЦЕРИЯ

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

Редкоземельные элементы нашли широкое применение в промышленности в настоящее время. В частности, церий применяют в составе мишметалла, как компонент полирующих и обесцвечивающих порошков, в качестве катализаторов в нефтяной промышленности [1].

Церий обладает двумя валентными формами – +4, которая более устойчива в щелочной среде, и +3, более устойчива в кислой среде. Валентная форма церия оказывает сильное влияние на его экстракционные свойства, в связи с чем необходимо определение валентного состояния церия в растворе для его дальнейшего отделения от других РЗЭ.

Оптические методы анализа нашли широкое применение для определения РЗМ. Спектрофотометрия в УФ-области применяется для определения церия, так как его пик лежит только в этой области. Пик церия в валентной форме +4 соответствует длине волны 240,0 – 253,6 нм, в валентной форме +3 – около 300 нм. На определение не влияют другие РЗЭ, но большое влияние оказывает выбор фона [2].

Для определения валентных форм церия в данной работе были сняты спектры нитратного раствора РЗЭ и раствора нитрата церия, приготовленного из 6-водного кристаллогидрата нитрата церия, с фонами азотной, серной, соляной и хлорной кислот, а также добавками перекиси водорода и раствора аммиака, для выбора наиболее подходящего фона, наименее влияющего на определение металла. В качестве наиболее подходящего фона была выбрана хлорная кислота, так как она не имеет пиков в интересующей нас области длин волн.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Симонова А. В. и др. Обзор возможностей применения церия и других редкоземельных элементов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. – 2023. – С. 4469-4471.
2. Рябухин В.А., Рябчиков Д.И. Аналитическая химия редкоземельных элементов и иттрия. - М.: Наука, 1966 - 380 с.

Ворожейкин С.Е., Ожерельев О.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ HSC CHEMISTRY В ИЗУЧЕНИИ СУБЛИМАЦИИ ЯДЕРНО-ЧИСТОГО ФТОРИДА ЦИРКОНИЯ

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

Фторидная технология переработки циркона является конкурентоспособной альтернативой традиционным методам, обеспечивая получение ядерно-чистого циркония, необходимого для технологического суверенитета РФ в интересах ГК «Росатом».

Целью работы является определение оптимальных условий сублимационной очистки тетрафторида циркония ZrF_4 от примесей переходных металлов в программном комплексе HSC Chemistry.

Расчеты проведены для многокомпонентной системы ZrF_4 – фториды примесей (Fe, Ni, Co, Cu, Mn) в диапазоне 900–1700 К. Было исследовано влияние степени разбавления газа-носителя (Ar и He) при пониженном давлении (0,013 атм) и при нормальном давлении.

Тетрафторид циркония устойчиво переходит в газовую фазу. Подтверждена термодинамическая нестабильность ZrF_3 в паровой фазе (его концентрация в паровой фазе минимальна по сравнению с другими фторидами).

Увеличение доли инертного газа сдвигает процесс сублимации в низкотемпературную область. При переходе от соотношения 20:1 к 100:1 (He/Ar:Воздух) температура 100% сублимации снижается с 1180–1200 К до 1120–1150 К.

Понижение давления до 0,013 атм обеспечивает весомое снижение температуры сублимации на 150–200 К. Сочетание максимального разбавления и вакуума приводит к полной сублимации системы при температурах ниже 900 К.

Выявлено, что лимитирующей примесью, определяющей полноту очистки, является FeF_3 , который сохраняется в твердом осадке перед точкой 100% сублимации.

Оптимальные условия сублимационной очистки ZrF_4 (температурный интервал 1000–1050 К при полном переходе в газовую фазу) достигаются при сочетании высокого разбавления инертным газом, пониженного давления и циркониевой насадки.

Горелов А.В., Дмитриева О.С., Погляд С.С.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВАРИАНТОВ ПЕРЕВОДА ОБЛУЧЁННОГО МАВЭЛА В ПРИГОДНУЮ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ФОРМУ НА ИМИТАТОРАХ

Акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов», г.

Димитровград, Россия

e-mail: avgorelov@niiar.ru

Основным подходом к обращению с минорными актинидами (МА) является их гетерогенное выжигание в реакторе на быстрых нейтронах в составе специальных устройств, заполненных смесью соединений выжигаемого элемента и инертного разбавителя, снижающего ядерную плотность и, соответственно, приводящий тепловые нагрузки в пределы нормы [1]. В качестве разбавителя выбран нитрид циркония.

После облучения и выжигания МА в реакторе на быстрых нейтронах на переработку будет поступать облучённый материал, содержащий в своём составе нитрид циркония, остаток исходного оксида америция, накопленные соединения урана, плутония, нептуния, кюрия и продукты деления [2].

Нитрид циркония способен взаимодействовать с газообразным хлором и почти полностью разлагаться нагреванием при 300 °С в течение 3 часов [3]. В результате этого образуется тетрахлорид циркония ($ZrCl_4$), газообразный азот (N_2).

Проведена обработка нитрида циркония при умеренных температурах (<500 °С) газообразным хлором в течение 6 часов. Был получен белый осадок хлорида циркония в холодной части аппарата. В результате удалось достичь растворения в азотной кислоте 98% массы осадка. Нерастворимая фаза соответствовала оксиду циркония.

Полученный хлорид циркония может быть переведён в металл или оксид циркония – формы, пригодные для захоронения. В случае низкой радиотоксичности матрицы возможно её повторное использование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьева М. Н. и др. Разработка и обоснование технологии гетерогенного выжигания младших актинидов в реакторе бор-60 // Научный годовой отчет АО "ГНЦ НИИАР" (отчет об основных исследовательских работах, выполненных в 2021 г.). – 2022. – С. 23-27.
2. Коробейников В. В. и др. Исследования возможности выжигания и трансмутации Am-241 в реакторе с америциевым топливом: Препринт ФЭИ–3284 // Обнинск, ГНЦ РФ–ФЭИ. – 2018.
3. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. – 1984. – С. 260

Дешина М.В., Богданова С.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДОБАВОК ПРИ АНАЛИЗЕ РАСТВОРОВ СЛОЖНОГО СОЛЕВОГО СОСТАВА

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

Потенциометрический метод с использованием ионселективных электродов широко применяется для определения свободных ионов благодаря простоте, экспрессности и широкому диапазону измеряемых концентраций. Однако при анализе растворов сложного солевого состава возникает проблема матричного влияния. Так, например, при анализе фторидов присутствие в анализируемом растворе ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} приводит к образованию прочных фторидных комплексов и малорастворимых соединений, а также изменяет ионную силу раствора. Это, в свою очередь, приводит к искажению результатов при использовании метода градуировочного графика и увеличению погрешности. Для повышения точности и правильности потенциометрического определения используют следующие методы:

- метод добавки стандартного раствора к анализируемой пробе;
- метод добавки анализируемой пробы к стандартному раствору;
- метод добавки стандартного раствора с последующим разбавлением (уменьшением содержания определяемого иона);
- метод двойных добавок стандартного раствора.

Методы стандартных добавок позволяют компенсировать матричные эффекты без необходимости построения сложных калибровок и учёта фоновых электролитов.

Цель данной работы - проведение сравнительного анализа результатов определения концентрации фторид-ионов в питьевых и минеральных водах различной минерализации, полученных методом градуировочной прямой и методом стандартной добавки.

Для оценивания характеристик погрешности использовали образцы проб без добавки и с добавками аттестованной смеси фторид-иона.

Установлено, что метод градуировочного графика эффективен при анализе слабоминерализованных вод (до 1 г/л). В случае исследования объектов со сложной матрицей и высокой степенью минерализации (свыше 3 г/л) целесообразно использовать метод стандартной добавки. Данный подход позволяет нивелировать матричные эффекты, обеспечивая достоверность результатов и сводя к минимуму аналитическую погрешность.

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

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КРЕМНИЯ НА ПАТТЕРН БИОАКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ

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

В течение длительного времени в медицине используются кальцийфосфатные покрытия, характеризующиеся образованием тесной химической связи с костью. В то же время продолжаются исследования, направленные на повышение их биоактивности и остеогенности.

Известно, что введение ионов кремния в кальций фосфатные покрытия придает им наибольшую биологическую активность. Исследователями выявлена способность ионов кремния преобразовывать электрические сигналы хондроцитов и стимулировать рост хрящевой ткани [1].

Получены покрытия из электролитов, содержащих водный раствор ортофосфорной кислоты, гидроксиапатита и силиката натрия с концентрациями 0,05%, 0,10% и 0,15%. Введение ионов кремния приводит к увеличению напряжения, необходимого для формирования композитного покрытия. На оптическом микроскопе исследован паттерн поверхности полученных покрытий и был проведен анализ шероховатости. С увеличением концентрации ионов кремния увеличивается количество и диаметр стеклообразных сферолитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитюк И.Е., Гаркавенко Ю.Е. Использование имплантатов на основе монокристаллов кремния для предупреждения деформаций конечностей при повреждении росткового хряща (экспериментальное исследование) // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2011. – №1. – С. 38-43.

*Жабина А.М., Сарапова С.Ю., Кикенина И.К., Широков А.В.,
Грачев Е.К.*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВ ОКСИДОВ РЗЭ ПРИ РЕЦИКЛИРОВАНИИ ОТРАБОТАВШИХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ Nd₂Fe₁₄B

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

Редкоземельные элементы (РЗЭ) и их соединения используют в различных отраслях промышленности; в настоящее время лидером по добыче РЗЭ является Китай. В связи с высокой рыночной стоимостью РЗЭ и изделий на их основе актуальной задачей является развитие технологий рециклирования магнитных материалов с извлечением из сплавов РЗЭ и их использования в качестве лигатур. Однако, восстановление РЗЭ, извлечённых из отработавших магнитных сплавов гидрометаллургическими способами, до металлов является трудоёмким и энергозатратным процессом. В связи с этим, рассмотрение в качестве легирующих добавок оксидов РЗЭ может сократить экономическую составляющую процессов легирования.

Одним из важных свойств оксидов являются их гранулометрические характеристики, из которых складывается их химическая активность. Вместе с тем было выявлено, что наиболее активные оксиды РЗЭ получают из оксалатов, карбонатов и гидроксидов. При восстановлении до оксидов РЗЭ их соединений вода удерживается слабее в гидратированных оксалатах, чем в оксалата-группах, а также в ряду от лантана до лютеция снижается прочность связи карбонато-группы в диоксимоно-карбонатах РЗЭ.

Установление точных температурных режимов и понимание процессов термического разложения оксалатов, гидроксидов и карбонатов РЗЭ поможет улучшить стадию получения оксидов РЗЭ в процессе их рециклирования. Деривативная термогравиметрия предоставляет возможность детально исследовать температурные зависимости и механизмы разрушения указанных соединений РЗЭ, а также исследовать свойства образующихся оксидов.

В докладе авторами будут представлены результаты исследования процессов образования и свойств оксидов РЗЭ, образующихся из их оксалатов, карбонатов и гидроксидов, а именно: температурные условия и механизмы термического разложения оксалатов, гидроксидов и карбонатов РЗЭ.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ Nd(III) В РАСТВОРАХ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ РАЗНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

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

Разработка методов контроля содержания валентных форм актиноидов в отработавшем ядерном топливе в условиях замкнутого топливного цикла сталкивается с двумя проблемами. Первая — недостаточная эффективность традиционных аналитических методов при анализе сложных систем. Вторая — влияние азотной кислоты на спектральные характеристики актиноидов, особенно на плутоний, что существенно усложняет интерпретацию получаемых спектров. Методом решения этой проблемы является комбинирование спектрофотометрии и хемометрики.

В ходе работ научной группой СТИ НИЯУ МИФИ были созданы и программно реализованы следующие модели: регрессионная на основе метода частичных наименьших квадратов (PLS) и обзорная модель на основе (mscprure) для анализа поведения исследуемой системы. В качестве модельных компонентов использовали оксид неодима с варьированием концентрации от 0 до 5 г/дм³, и азотную кислоту с варьированием концентраций от 0 до 12 моль/дм³.

Обзорная модель была разработана на основе поведения неодима в различных концентрациях азотной кислоты. Регрессионная модель была разработана на основе поведения неодима и азотной кислоты при их различных концентрациях.

Благодаря обзорной модели было установлено, что азотная кислота влияет на пики неодима: смещает их вправо в сторону увеличения длины волны и увеличивает оптическую плотность. Было проведено сравнение коэффициентов экстинкции неодима в растворах с концентрацией азотной кислоты 1 моль/дм³ и 12 моль/дм³. Они составили соответственно $\varepsilon = 6,6171 \text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ и $\varepsilon = 16,4004 \text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, что говорит о росте коэффициента в 2,5 раза. При помощи регрессионной модели были получены концентрации, близкие к истинным. Погрешность составила для неодима $\delta = 0,1 - 12\%$ и для азотной кислоты $\delta = 1 - 16\%$.

Искужин Б.Э., Терехова А.А., Муслимова А.В.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДОВ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ОТ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ

*Северский Технологический Институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: iskuzhin04@bk.ru*

Актуальность данной работы обусловлена тем, что очистка фторсодержащих соединений (WF_6 , BF_3 , NF_3 , HF) от газовых примесей является важной составляющей частью процесса для многих отраслей промышленности (химической, атомной, электронной и т.д.). Высокая чистота этих газов критически важна для конечных технологических процессов: примеси приводят к дефектам продукции и снижению выхода годных изделий. В данной работе был рассмотрен способ отделения примесей при помощи очистки сорбентами на основе углеродов.

Целью данной работы является анализ и систематизация особенностей применения различных углеродных сорбентов для удаления примесей из газовых потоков, содержащих фтористые соединения.

Фторуглерод (ФУ) - углеродный материал, в котором все или почти все атомы водорода замещены на атомы фтора. Общая формула - $(CF_x)_n$, где x часто близок к 1. Ключевое преимущество углеродных сорбентов для отделения примесей от фторсодержащих газов заключается в уникальном сочетании трёх факторов: исключительная химическая стойкость к агрессивным фторидам; высокая удельная поверхность и пористая структура; неполярная и энергетически однородная поверхность. Ни один другой широко доступный сорбент не обладает одновременно всеми этими свойствами.

В ходе очистки газов может возникнуть побочный процесс - интеркаляция. Интеркаляция представляет собой опасный процесс при использовании слоистых углеродных сорбентов (включая ФУ), заключающийся во внедрении молекул аналита (интеркалята) между углеродными слоями кристаллической решётки без её разрушения. Однако формированию интеркалятов препятствует кинетический барьер: процесс требует повышенных температур (обычно $\geq 100^\circ C$), тогда как ГХ-анализ проводится при $50^\circ C$, что делает интеркаляцию маловероятной в стандартных условиях.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ХИТОЗАНСОДЕРЖАЩИХ ГРАНУЛ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ХИТОЗАНА

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

Ввиду того, что гранулированные сорбционные материалы имеют активные функциональные группы и способны обмениваться ионами с другими растворенными веществами, данные сорбенты широко применяются в водоочистке для удаления различных вредных примесей, в том числе ионов тяжелых металлов, в химической промышленности – для выделения продуктов органического и неорганического синтеза, а также в медицине – для очистки крови.

Ионообменный гранулированный материал на основе российского сырья, ввиду недоступности зарубежного, должен соответствовать требованиям ГОСТ 20301-2022 и ГОСТ Р 52127-2003 по ряду показателей, таких как остаточное содержание влаги, коэффициент однородности и пр. В настоящей работе рассмотрены способы синтеза хитозансодержащих сорбентов в виде гранул, получены образцы гранул из комплексных соединений хитозана с уксусной кислотой и исследована зависимость статической обменной емкости данных материалов от концентрации хитозана в кислых растворах. Измерено время отверждения гранул в зависимости от состава отверждающего раствора. Проведены предварительные исследования сорбционной способности гранул с различным содержанием хитозана методом кислотно-основного титрования в соответствии с ГОСТ 20255.1-89.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pillai C. K. S., Paul W., Sharma C. P. Chitin and chitosan polymers: chemistry, solubility and fiber formation // Progress in polymer science, 2009. – Vol. 3. – No. 7. – P. 641-678.
2. Габрин В. А., Никифорова Т.Е. Извлечение ионов меди композиционными сорбентами на основе хитозана из водных растворов в присутствии поверхностно-активного вещества // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2023. – Т. 59. – №. 4. – С. 364-372.

Кузнецова О.В., Богданова С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТРИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРИДОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томская обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: oksanochka.kuznetsova.0303@mail.ru*

Контроль содержания фторид-ионов (F⁻) в источниках питьевого водоснабжения представляет собой приоритетную задачу санитарно-химического анализа. Это обусловлено узким диапазоном их допустимого содержания (0,5–1,5 мг/дм³). Отклонения от данных норм приводят к развитию кариеса или флюороза, что обуславливает жесткие требования к точности аналитических определений.

Прямая потенциометрия с фторид-селективными электродами (ФСЭ) широко применяется для определения F⁻ благодаря простоте, экспрессности и отсутствию сложной пробоподготовки. Однако точность этого метода может снижаться из-за матричных эффектов – влияния ионного состава анализируемой пробы. Основными факторами, влияющими на определение фторидов, являются: водородный показатель (pH) раствора; присутствие катионов, образующих прочные комплексы или малорастворимые соединения с фторид-ионами; ионная сила раствора.

Целью данной работы является исследование влияния ионного состава анализируемых проб на точность потенциометрического определение фторидов и оптимизация условий анализа сложных матриц.

Для нивелирования матричного влияния и стабилизации ионной силы были изучены различные буферные системы (ацетатная, цитратная, ацетатно-цитратная, БРОИС) в сочетании с комплексообразователями (трилон Б, лимонная кислота, цитрат натрия).

В результате для анализа высокоминерализованных вод выбран модифицированный ацетатный буфер (pH=5,0), основными компонентами которого являются уксусная кислота и ацетат натрия. Для поддержания постоянной ионной силы в буферный раствор добавлен хлорид натрия, а также цитрат натрия и трилон Б для эффективного маскирования мешающих катионов. Данный состав обеспечивает полноту демаскирования фторид-ионов и высокую воспроизводимость результатов в условиях сложного солевого фона.

Лялина Н.А., Житков С.А., Ткачук С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОТРУБОК НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОКСА

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

Известно, что добавление незначительного количества нанотрубок увеличивает прочность и электропроводность пластмасс. Углеродные нанотрубки – это одна из аллотропных модификаций углерода, имеющая структуру полого цилиндра и может состоять как из одного свернутого слоя графита, так и из нескольких слоев. Обычно диаметр нанотрубок от десятка до нескольких десятков нанометров, а длина нанотрубки может достигать от одного микрона до нескольких сантиметров. [1] Нами проведена работа по изучению влияния нанотрубок на электрохимические свойства кокса.

Для проведения данной работы из АО «ЭПМ – НовЭЗ» (Новосибирская область) были заказаны коксовые прутки диаметром 60 мм и длиной 150 мм с добавлением нанотрубок в количестве одного процента по отношению к массе пека, который составляет ~20% от всей массы шихты, предназначенной для формования и обжига заготовок.

Из полученных коксовых прутков с нанотрубками вырезали аноды, которые установили в лабораторный электролизёр для исследований процесса получения фтора. Лабораторный электролизер представляет собой фторопластовый стакан с расправленным электролитом – дигидрофторид калия ($KF \cdot 2HF$) и двумя электродами. Для сравнения результатов использовали штатный анод при одних и тех же условиях, что и для анода с нанотрубками. Результаты исследования показали, что влияние нанотрубок на электрохимические свойства кокса незначительное в исследованных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Углеродные нанотрубки [Электронный ресурс] // Рувикс: Интернет-энциклопедия. – URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Углеродные_нанотрубки (дата обращения 20.04.2026 г.)

Маркелова Д.В., Зелichenko Е.А., Аранжин Д.А., Чубенко Я.Б.

ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО КОЛЛАГЕНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА КОСТНОЗАМЕЩАЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

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

В современной регенеративной медицине актуальна разработка костнозамещающих материалов, где важную роль играет связующий компонент. В связи с этим потребовалось изучить методики получения медицинского коллагена из природного сырья и способы его очистки.

Коллаген — основной фибриллярный белок соединительной ткани, составляющий около 25–30% всех белков организма. Он обеспечивает прочность сухожилий, связок, костей и кожи. Наиболее распространён коллаген I типа, преобладающий в костной ткани и коже, что делает его ценным сырьём для медицинских целей.

Для выделения коллагена необходимо удалить минеральные компоненты, в первую очередь фосфат кальция, и перевести нерастворимый нативный коллаген в растворимую форму. Наиболее эффективной оказалась обработка слабоконцентрированной органической кислотой, которая растворяет коллаген, не вызывая глубокой деструкции его волокон.

В ходе эксперимента с предварительно деминерализованных костей крупного рогатого скота сначала удалили надкостный жир, затем измельчили волокна и нагревали в растворе органической кислоты. После этого полученную смесь упаривали на водяной бане. В процессе синтеза полимера проводили мониторинг следующих параметров: вязкости, кислотности среды (рН) раствора и его объёма.

Отработанная методика позволила получить коллагеновый концентрат, который в дальнейшем планируется применять в качестве связующего компонента при разработке костнозамещающего материала для 3D-печати.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликова Ю. В., Носкова С. А., Муравьева Н. А., Бабич О. О. Обзор исследований по применению коллагеновых гелей в трехмерной печати и биопечати для производства медицинских изделий регенеративной медицины // *Biomedical and Biotechnology Research Journal*. – 2025. – Т. 9, № 4. – С. 345–352.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ РЗЭ ВЫДЕЛЕННЫХ МЕТОДОМ ДРОБНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ
636036, г.Северск, Томская 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 превращается в важнейший стратегический приоритет.

Задача полного извлечения редкоземельных металлов (РЗМ) из отработавших свой срок магнитов до сих пор не имеет универсального технологического решения. Существующие методы переработки, охватывающие гидрометаллургический, пирохимический и порошковый подходы, демонстрируют различную эффективность: каждый обладает специфическим набором преимуществ и сопряжен с определенными ограничениями.

Научной группой Северского технологического института НИЯУ МИФИ предложены две схемы переработки кристаллогидратов суммы РЗМ, получаемые кристаллизацией из раствора в котором были растворены гидриды магнитных сплавов.

Однако кристаллогидраты, полученные данным способом, не удовлетворяют степени чистоты, которая должна составлять не менее 95%. Устранить этот недостаток возможно методом перекристаллизации. Для этого полученные ранее кристаллы сульфатов железа и РЗЭ повторно растворялись и кристаллизовались. Данный метод практически не образует жидких отходов. В процессе перекристаллизации раствор насыщен по РЗМ поэтому в процессе повторной кристаллизации выделяются кристаллы сульфатов РЗЭ, а кристаллы железного купороса не получают достаточного насыщения для образования кристаллов и остаются в растворе. Также нерешенным вопросом остается разделения железа и кобальта как ценного ресурса.

Полученные кристаллы растворяются и далее применяются разные схемы осаждения, для перевода из сульфатов в более удобную для технологического процесса форму. Первая схема представляет собой осаждение оксалат анионом. Во второй схеме вносится сульфат щелочных металлов, для получения чистого осадка, после этот осадок обрабатывается раствором щелочи.

*Нетфуллова И.И.^{1,2}, Семенова А.С.^{1,2}, Погляд С.С.^{1,2}, Капралов Д.А.²,
Горелов А.В.², Шалимова А.И.³, Никонов К.А.⁴*

ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ

¹ *ДИТИ НИЯУ МИФИ, 433511, г. Димитровград, Ульяновская об.,
ул. Куйбышева, 294*

e-mail: diti@terphi.ru.

² *АО «ГНЦ НИИАР», 433507, г. Димитровград, Ульяновская об.,
Западное ш., 9*

e-mail: niiar@niiar.ru

³ *ОГАОУ «Лицей ядерных технологий» при НИЯУ МИФИ»,
433513, г. Димитровград, Ульяновская об.,*

пр-т. Автостроителей, д.31Б

⁴ *МАОУ «Многопрофильный лицей», 433506, г. Димитровград,
Ульяновская об., ул. Курчатова, д.8*

На атомных электростанциях образуются значительные объёмы трудно перерабатываемых радиоактивных отходов отработавших ионообменных смол. Они обладают высокой химической и радиационной стойкостью, склонны к набуханию, что создаёт серьёзные проблемы при их долговременном хранении и захоронении.

В работе экспериментально подтверждена принципиальная возможность электрохимического окисления отработавших ионообменных смол как перспективного метода их обезвреживания. Установлено, что в условиях анодного окисления в сернокислой среде эффективной парой электродов, обеспечивающей устойчивую работу, являются платинированный анод и стальной катод. В анодном пространстве генерируются сильные окислители, приводящие к деструкции смолы: при электролизе фиксируется последовательное изменение цвета ионообменной смолы. Ключевым подтверждением эффективности метода служат данные сканирующей электронной микроскопии. Исходная ионообменная смола характеризовалась шероховатой поверхностью и развитой пористостью, тогда как после электрохимической обработки в сернокислой среде с платинированным анодом поверхность гранул становилась полностью гладкой и лишённой пор, также смола растрескалась, что однозначно свидетельствует о глубокой деструкции органической матрицы.

Экспериментально подтверждена реализуемость метода деструкции ИОС путем электрохимического окисления. Рекомендуется увеличить продолжительность электролиза.

Охотникова Е.П., Гузеева Т.И.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГИДРОКСИАПАТИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО СЕРЕБРОМ И ЦИНКОМ

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

Гидроксиапатит — основной минеральный компонент костной ткани, широко применяемый в регенеративной медицине благодаря высокой биосовместимости и остеокондуктивности. Однако его природные свойства не всегда достаточны для предотвращения инфекций и стимуляции остеогенеза. Перспективным подходом является катионное замещение Ca^{2+} на биологически активные ионы, в частности Zn^{2+} и Ag^{+} .

Ионы цинка встраиваются в кристаллическую решетку ГА, замещая позиции кальция, что приводит к уменьшению параметров элементарной ячейки. Содержание Zn^{2+} до 1–2 ат.% стимулирует процесс размножения остеобластов, ускоряет синтез коллагена и обладает умеренным антибактериальным действием [1].

Ионы серебра, напротив, имеют больший ионный радиус, чем Ca^{2+} , и при замещении вызывают увеличение параметров решетки и образование дополнительных фаз. Ag^{+} является мощным бактериостатическим агентом против широкого спектра грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов [2].

Таким образом, установлено, что модифицирование гидроксиапатита ионами цинка и серебра позволяет направленно изменять его физико-химические характеристики (размер кристаллитов, удельную поверхность, растворимость) и придавать материалу требуемые биологические свойства — остеогенные и антимикробные. Дальнейшие экспериментальные исследования необходимы для подтверждения этих закономерностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cox S. C. Preparation and characterisation of nanophase Sr, Mg, and Zn substituted hydroxyapatite by aqueous precipitation / S. C. Cox, P. Jamshidi, L. M. Grover // Materials Science and Engineering C: Materials for Biological Applications. – 2014. – Vol. 35. – P. 106–114.
2. Цинк- и серебросодержащие гидроксиапатиты: синтез и свойства / И. В. Фадеева, Н. В. Бакунова, В. С. Комлев [и др.] // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 442, № 6. – С. 780.

Панихин В.С., Башкирова А.П., Богданова С.А., Молокова Т.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРИДОВ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: panihinvlad007@mail.ru*

С развитием атомной энергетики, технологий редких металлов некоторые соединения фтора (газообразный фтор, гексафторид урана, фтороводород) приобрели значение стратегического сырья. В свою очередь, необходимость контроля фторидов в технологических водах теплоэлектростанций (ТЭС) и атомных электростанций (АЭС) объясняется существованием допустимого содержания фторид-ионов (F⁻) в питательной воде и обессоленном конденсате ядерных реакторов не более 10,0 мкг/дм³.

В настоящее время для определения содержания фторид-ионов в растворах применяют методики однокомпонентного анализа: спектрофотометрия и потенциометрия. Для определения фторидов в объектах сложного состава наиболее перспективными являются методы газовой хроматографии (ГХ) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

ВЭЖХ отличается от остальных благодаря уникальности одновременного анализа смеси компонентов анионов, а также высочайшей чувствительности и селективности. В отличие от газовой хроматографии ВЭЖХ обладает возможностью разделения больших видов веществ, вследствие их нелетучести.

Исследования проводили на жидкостном хроматографе «Стайер-М». В качестве подвижной фазы использовали смесь карбоната и гидрокарбоната натрия. Разделение осуществлялось в результате прохождения смеси компонентов через колонку хроматографа и подавитель. Роль подавителя в данной установке – удаление катионов натрия из подвижной фазы с помощью регенерирующего раствора (серная кислота).

Количественное определение фторид-ионов проводили по градуировочному графику, построенному по серии стандартных растворов, приготовленных из государственного стандартного образца с содержанием F⁻ 1 мг/см³. Градуировочный график имеет линейный вид, коэффициент регрессии составил 0,9999.

Петренко А.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКАРБОНФТОРИДОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОТОЧНОМ МНОГОУРОВНЕВОМ РЕАКТОРЕ ФТОРИРОВАНИЯ

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

Поликарбонфториды (ПКФ) или фторированный углерод – нестехиометрическое соединение углерода со фтором с формулой CF_x (x может меняться в диапазоне от 0,25 до 1,13). Данный материал может применяться в химических источниках тока (ХИТ) в качестве отрицательного электрода в неводных средах, за счет высокой электроотрицательности фтора, что способствует кратному увеличению емкости ХИТ. Помимо этого, фторированный углерод обладает смазывающими свойствами, что позволяет применять в качестве присадок в масла в различных областях промышленности.

Получение ПКФ производится путем фторирования твердого углеродного материала (УМ) смесью газообразного фтора с инертными газами при определенной температуре в зависимости от типа исходного УМ. Скорость реакции преимущественно определяется скоростью диффузии реагентов, поэтому важным условием является поддержание ламинарного потока газовой смеси над порошкообразным материалом. Помимо этого, процесс фторирования экзотермичен и нарушение баланса между тепловыделением и теплоотводом интенсифицирует побочные процессы разложения фторированного углерода с образованием тетрафторметана.

На АО СХК были проведены работы по моделированию проточного аппарата для исключения возникновения турбулизации и неравномерности распределения концентрационных потоков фтора, а также получения однородного теплового потока в аппарате. По результатам расчетов был сконструирован и изготовлен опытный образец проточного реактора фторирования ПКФ. Был проведен ряд экспериментов, направленных на определение температурного поля в объеме реактора в процессе фторирования, определена удельная скорость фторирования углерода в процессе проведения эксперимента. По результатам испытания реактора определены оптимальные технологические параметры фторирования технического углерода.

*Сарапова С.Ю., Жабина А.М., Кикенина И.К., Широков А.В.,
Грачев Е.К.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ СОВМЕСТНОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЗЭ И ЖЕЛЕЗА В ПРОДУКТАХ
ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШИХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ
ND₂FE₁₄В МЕТОДОМ ДРОБНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

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

В настоящее время спрос на РЗЭ растет, так как они используются в электронике. Однако редкоземельные элементы дорожают, а импорт из Китая ухудшается. Технология рециклирования позволяет извлекать из изделий РЗЭ, тем самым снижая конечную стоимость. В процессе гидрометаллургической переработки отработавших магнитных сплавов возникает потребность аналитического контроля целевых и побочных продуктов. В настоящее время ведется поиск эффективных и экспрессных методов аналитического контроля продуктов, получаемых на различных стадиях переработки отработавших магнитных сплавов.

Процесс дробной кристаллизации используется в одном из этапов рециклирования отработавших магнитных сплавов методом «магнит к магниту», а именно при переработке порошков гидридов отработавших магнитных сплавов с целью извлечения редкоземельных элементов для дальнейшего получения лигатур.

Для проведения сравнения аналитических методов определения РЗЭ и железа и разработки собственной методики определения содержания РЗЭ и железа в продуктах кристаллизации используются растворы сульфатов неодима, празеодима и железа с заданными концентрациями. Для сравнительного анализа используются методы спектрофотометрического, ИК-Фурье спектроскопического и титриметрического определений. При определении содержания РЗЭ в растворе титриметрическим методом погрешность составляет 65,36 %. Усовершенствование методики титрования редкоземельных элементов позволит более качественно проводить анализы маточных растворов, что позволит быстро определять выход целевых компонентов на каждой стадии кристаллизации.

Семенова А.С.^{1,2}, Нетфуллова И.И.^{1,2}, Погляд С.С.^{1,2},
Замалтдинова А.Р.², Пронин С.А.³, Полознева В.В.⁴

РАСТВОРЕНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ МЕТОДОМ ФЕНТОНА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ИММОБИЛИЗАЦИЕЙ В ЦЕМЕНТНУЮ МАТРИЦУ

¹ ДИТИ НИЯУ МИФИ,

433511, г. Димитровград, Ульяновская об., Куйбышева, 294
email: diti@terphi.ru.

² АО «ГНЦ НИИАР»,

433507, г. Димитровград, Ульяновская об., Западное ш., 9
email: niiar@niiar.ru

³ МАОУ СШ №2,

433513, г. Димитровград, Ульяновская об., ул. Победы, д.18 к.а

⁴ МОУ Новомалыклинская СОШ,

433560, с. Новая Малыкла, Ульяновская об., Советская ул., д.66

В радиохимических технологиях широко используются ионообменные смолы (ИОС). После эксплуатации смолы становятся сложными в обращении радиоактивными отходами, которые требуют дальнейшей переработки и кондиционирования. В данной работе рассмотрен метод растворения смол с последующей иммобилизацией в цементную матрицу для отверждения отходов.

Растворение проводили с помощью фентон-окисления в уксусно-кислой среде с добавлением катализатора сульфата меди концентрацией 0,1 моль/л. В раствор при температуре 60°C вводилось 0,25 мл 30% перекиси водорода с периодом 1 минута до активного пеновыделения. После охлаждения раствора ИОС перешла в хлопьевидный осадок, который был растворен азотной кислотой концентрацией 16 моль/л.

Полученный после разложения раствор подвергли операции иммобилизации в цементную матрицу. Учитывая сложный состав полученного раствора, вместо заданного водо-цементного соотношения определяли момент начала застывания цементного камня в ходе добавления порций реагентов. Полученная матрица созревала в течение 28 суток без дополнительной обработки. В итоге обнаружена трещина, причиной которой может быть плохая совместимость цемента с сильноокислым раствором после утилизации ИОС.

На следующем этапе работы рекомендуется модифицировать состав цементной матрицы для обеспечения соответствия полученной отвержденной матрицы НП-019-15.

Семенычева А.Н., Шелихова Е.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТОНКОСЛОЙНОЙ РАДИОХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ

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

Одним из ключевых параметров, определяющих пригодность радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП) к использованию, является радиохимическая чистота (РХЧ) – процентное содержание радионуклида в заявленной химической форме. Для большинства РФЛП на основе ^{99m}Tc радиохимическая чистота должна составлять не менее 90-95%. Присутствие примесей выше допустимых требований способно приводить к искажению результатов диагностических исследований, создавать дополнительную лучевую нагрузку на организм пациента, что делает контроль РХЧ критически важной задачей.

В определении РХЧ радиофармпрепаратов ведущее место занимают хроматографические методы. В данной работе был рассмотрен метод тонкослойной хроматографии (ТСХ), с применением радиометрического детектирования.

Для анализа были взяты 2 образца – раствор натрия пертехнетата из экстракционного генератора и набор для приготовления радиофармпрепарата (НПРФП) «Сентискан, ^{99m}Tc », меченный технецием- 99m .

В качестве подвижной фазы использовали ацетон, в качестве неподвижной фазы пластины для ТСХ с силикагелем 60 на алюминиевой подложке фирмы Merck. Детектирование хроматографической пластины проводили радиометром сканирующим miniGITA.

Содержание технеция- 99m в форме пертехнетат-иона TcO_4^- в растворе натрия пертехнетата из экстракционного генератора в соответствии с ФСП 42-1419-06 должно быть выше 99,0%. Основной примесью, наличие которой регламентируется, является технеций- 99m в других химических формах (восстановленный гидролизированный технеций, технеций (IV)). В случае НПРФП «Сентискан, ^{99m}Tc », меченного технецием- 99m , примесью является несвязанный пертехнетат-ион TcO_4^- .

По результатам контроля качества РФЛП были получены высокие показатели радиохимической чистоты. РХЧ проверенных образцов выше 99,0%.

*Aranzhin D.A., Guzeeva T.I., Zelichenco E.A., Markelova D.V.,
Kazantseva T.Yu.*

REVIEW STUDY OF THE COMPOSITIONS OF BONE SUBSTITUTE MATERIALS APPLIED IN THREE-DIMENSIONAL PRINTING

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: aranzhin03@bk.ru*

Modern reconstructive surgery is in urgency of effective materials to substitute bone defects. The high rate of injuries, increasing cancer, and the presence of congenital bone tissue anomalies are in need of developing biocompatible and fully functional implants.

Layer-by-layer synthesis technologies open broad prospects to produce personalized implants that precisely match the anatomical features of every individual.

Hydroxyapatite (HA) is the basis for a mineral component of bones and teeth. In medicine, HA is widely used as a filler to substitute lost bone tissue. The material has antiseptic, wound-healing, hemostatic, and osteoinductive properties [1].

Supplementing polymer components with composites based on HA allows the best performance parameters of implants. Despite its bioactivity and osteoconductivity, hydroxyapatite is characterized by increased brittleness, which complicates its use in load-bearing areas. The application of biodegradable polymers improves toughness and elasticity of the composite material approaching its mechanical properties to those of a natural bone.

There are three main methods for 3D printing of HA-based bioimplants:

- laser stereolithography;
 - extrusion shaping;
 - selective laser sintering.

In order to determine the most effective method for three-dimensional printing of HA-based bioimplants, the report will present the conditions and results of a comparative analysis.

REFERENCE

1. Dorozhkin S.V., Agatopoulus S. Biomaterials: Market Review // Chemistry and Life. – № 2. – 2002. – 8 p.

*Bashkirova A.P., Panikhin V.S., Bogdanova S.A., Molokova T.A.,
Kazantseva T.Yu.*

QUANTITATIVE DETERMINATION OF FLUORIDE IONS BY HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: anzhelika.bashkirova14@yandex.ru*

A significant challenge at nuclear fuel cycle (NFC) facilities is metal corrosion influenced by aggressive chemical media. Fluoride ions are highly active and capable of rapidly destroying structural materials, making their accurate determination essential in solutions. Regular monitoring of fluoride content not only prevents costly equipment deterioration, but also ensures the technological process stability to obtain hydrogen fluoride.

High-performance liquid chromatography (HPLC) is an optimal method to solve the problem, the main advantage of which concerns the ability to achieve rapid and precise separation of target components in samples of complex composition. An important feature of HPLC is its applicability to thermally unstable and non-volatile compounds, which is widespread in the technological cycles of chemical production processes and cannot be analyzed by gas chromatography methods.

The experimental section of the study was carried out applying the «Stayer-M» analytical system. The sample separation into individual components was achieved by passing it through a specialized chromatographic column. To enhance the sensitivity of fluoride ion determination, the suppression system of background conductivity was used. The operation of the suppressor using a sulfuric acid solution minimized extraneous signals from the eluent, resulting in well-defined peaks and high purity of the analytical response.

The reliability of the method was verified by calibration using standard solutions prepared from certified reference material (CRM) of fluoride ions with a concentration of 1 mg/cm³. The resulting calibration model showed a strictly linear relationship with a correlation factor of 0,9999.

The operating principles of the system and the analysis results of practical samples will be discussed in details.

Boytsova A.N., Poglyad S.S.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF DISPOSAL OPTIONS FOR SPENT PUREX PROCESS EXTRACTANT

*Dimitrovgrad Institute of Engineering and Technology of NRNU MEPhI,
294, Kuibyshev St., Dimitrovgrad, Ulyanovsk Region, 433511
e-mail: al.boytsova@mail.ru*

The problem of global accumulation of spent nuclear fuel (SNF) is aggravated by the growing interest in nuclear energy and its recognition as 'green.' Some of the SNF is successfully processed using aqueous extraction technology; most of its variants and modifications are based on the PUREX process developed more than 70 years ago.

A 30% solution of tributyl phosphate (TBP) in a diluent is used as an extractant, which is most often used as n-dodecane. During SNF processing, the extractant is exposed to radiation, which leads to its degradation. TBP can be regenerated by washing with soda solution, while laurylbutyl phosphoric acid, hydroxamic acids, oximes, and enols accumulate in the diluent [1]. This requires periodic disposal of the extractant. Attempts to implement its combustion or pyrolysis did not solve the problem: complex gas purification systems and filter disposal did not result in decreasing the volume of radioactive waste (RAW).

As part of the work, a disposal option involving the decomposition of spent extractant by hydrolysis in solutions of formic, oxalic and orthophosphoric acids without introducing an oxidizer was experimentally tested. The hydrolysis was carried out at a controlled temperature in an apparatus with a reflux condenser. The change in TBP content was assessed by IR spectroscopy using the peak of 1025 cm^{-1} corresponding to the valence vibrations of the P-O-C bond characteristic of TBP, as well as for the products of its partial hydrolysis, dibutyl phosphate (DBP) and monobutyl phosphate (MBP).

The results obtained, primarily using formic acid, confirm the fundamental possibility of TBP decomposition by acid hydrolysis under mild conditions (atmospheric pressure, temperature 80–100°C). The absence of an oxidizer reduces explosion and fire hazards but does not enable the diluent to completely decompose.

REFERENCE

1. C. Ginisty & B. Guillaume (1990) Solvent Distillation Studies for a Purex Reprocessing Plant, Separation Science and Technology, 25:13-15, 1941-1952, DOI: 10.1080/01496399008050435

*Denisov E.S., Zakharova P.T., Molokov P.B., Chentsov F.A.,
Kazantseva T.Yu.*

**CHEMOMETRIC ANALYSIS OF SPECTROPHOTOMETRIC
DATA TO DETERMINE THE COMPOSITION OF TRANSITION
METAL MULTICOMPONENT MIXTURES IN NITRIC ACID
MEDIA**

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: denisowegor2003@mail.ru*

The development of rapid methods to analyze actinide valence forms to control spent nuclear fuel (SNF) reprocessing in closed nuclear fuel cycles (CNFC) is constrained by the high labor intensity and long duration of standard methods. An alternative is the combination of spectrophotometry and chemometrics, which enables to analyze multicomponent mixtures without component splitting. Chemometrics extracts meaningful information from highly overlapping spectra. Transition metals (Co, Ni, Cr) in a nitric acid medium ($0.1 \text{ mol/dm}^3 \text{ HNO}_3$) were chosen as a model system simulating the behavior of actinides.

To solve the problem, a research team at Seversk Technological Institute (STI) of the National Research Nuclear University MEPhI (NRNU MEPhI) developed two regression models (PLS) to determine quantity, as well as a classification model (SIMCA) to choose an appropriate model based on an unidentified solution spectrum.

Spectral data recorded on an SF-56 spectrophotometer were processed by partial least squares (PLS) and multivariate curve resolution (MCR) methods. Principal component analysis (PCA) was used to reduce data dimensionality, along with the SIMCA algorithm to create the classification model. The software implementation was carried out in the R language using the stats, pls, and mdatools packages.

To assess the accuracy of the developed PLS models, model solutions of cobalt (3.75 g/dm^3) and nickel (1.25 g/dm^3) were analyzed. It was found that the error of the PLS calculation using the full spectrum was $\delta = 1.3\%$ (Co) and $\delta = 3.2\%$ (Ni), and it is much more accurate than the standard calculation based on the Bouguer–Lambert–Beer law on the same wavelength ($\delta = 2.6\%$ and $\delta = 18.4\%$, respectively). It confirms the advantage of multivariate calibration analyzing multicomponent mixtures.

*Markelova D.V., Aranzhin D.A., Zelichenko E.A., Guzeeva T.I.,
Chubenko Ya.B., Kazantseva T.Yu.*

SYNTHESIS OF A COMPOSITE BIOMATERIAL FOR 3D PRINTING OF BONE SUBSTITUTE IMPLANTS

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: dashenka.markelova.2004@mail.ru*

The fabrication of patient-specific bone constructs in traumatic and maxillofacial surgery is becoming increasingly important in the context of regenerative medicine development.

A key research direction is to develop osteoplastic composites compatible with 3D printing, enabling the implant production of complex geometric shapes. However, materials currently used often fail to provide an optimal balance between mechanical strength, resorption rate, and osseointegration.

In designing the composite, the primary objective is to obtain highly purified crystalline hydroxyapatite (HA) with controlled stoichiometry and particle size. Concurrently, the selection of a biocompatible polymer is required to approach the composite's properties comparable to those of natural bone tissue. The developed composition is destined for volumetric 3D printing of implants.

Obtaining HA powder requires maintaining a specific temperature control and a regulated rate of the precipitant. In the course of synthesis, constant monitoring of acidity during precipitation is essential as pH is a determining factor for the phase purity and product morphology [1].

A 5% sodium hydroxide (NaOH) solution was used as the titrant precipitant. The resulting precipitate was then kept in the mother liquor for 24 hours, with periodic pH adjustment.

REFERENCES

1. S. V. Dorozhkin, S. Agathopoulos. Biomaterials: A Market Review // Chemistry and Life. – No. 2. – 2002. – 8 p.

*Panikhin V.S., Bashkirova A.P., Bogdanova S.A., Molokova T.A.,
Kazantseva T.Yu.*

APPLYING HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY TO DETERMINE FLUORIDES

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: panihinvlad007@mail.ru*

Highly developing nuclear energy and rare metal technologies require fluorine compounds (gaseous fluorine, uranium hexafluoride, hydrogen fluoride) as strategic raw materials. In turn, the need to monitor fluorides in process waters of thermal power plants (TPPs) and nuclear power plants (NPPs) is explained by the permissible concentration of fluoride ions (F^-) in feedwater and demineralized condensate of nuclear reactors, which is no more than $10.0 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Currently, the techniques of single-component analysis such as spectrophotometry and potentiometry are used to determine the content of fluoride ions in solutions. To determine fluorides in complex objects, the most promising methods are gas chromatography (GC) and high-performance liquid chromatography (HPLC).

HPLC is compared with others due to its originality to simultaneously analyze a mixture of anion components, as well as its extremely high sensitivity and selectivity. Unlike gas chromatography, HPLC can separate a wide range of substances due to their non-volatility.

A Stayer-M liquid chromatograph was applied during research. A mixture of sodium carbonate and sodium bicarbonate was used as the mobile phase. Separation was achieved by passing the component mixture through a chromatographic column and a suppressor. The role of the suppressor in this setup is to eliminate sodium cations from the mobile phase with the regenerating solution (sulfuric acid).

Determination of fluorides was performed using a calibration curve constructed from a series of standard solutions prepared from a state standard sample with F^- concentration of $1 \text{ mg}/\text{cm}^3$. The calibration curve was linear, with a regression coefficient of 0.9999.

Saulov K.A.¹, Lozhkomoev A.S.¹, Kazantsev S.O.¹, Kazantseva T.Yu.²

MODIFICATION OF POROUS TiO₂ WITH Ag NANOPARTICLES

*¹Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia,
2/4, Academic Prospekt, Tomsk, Tomsk Region, 634055*

*²Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: kirllsaulov2002@gmail.com*

Porous titanium dioxide ceramics are used in water and air purification systems, catalysis, biomedical applications, and others. Among the main drawbacks of porous TiO₂ are the lack of definite antibacterial activity and a high absorption edge (above 3 eV) determining its photochemical activity under ultraviolet irradiation. The shortcomings can be eliminated by modifying TiO₂ with Ag nanoparticles using various physical and chemical methods, each being with its own advantages and disadvantages.

The authors' team has proposed a novel method to modify porous TiO₂ with Ag nanoparticles. It involves preliminary impregnation of oxide with suspension of Ag powder produced by wire electrical explosion, followed by heating to 400 °C and holding for an hour. When heated, coalescence of agglomerated Ag particles occurs followed by fragmentation into individual nanoparticles sized 2-80 nm.

Consequently, Ag nanoparticles are distributed uniformly enough over the surface of porous TiO₂ including inside the pores. The modification with silver enhances both antibacterial and photochemical activity.

It is shown by the example of the bacterial strains *E. coli* and *S. aureus* that complete suppression of viability proceeds in the saline within 3 hours of contact when bacteria are incubated in the presence of TiO₂/Ag.

Using methylene blue dye as an example, it is found that in the presence of TiO₂/Ag and visible light irradiation, the dye decomposes to 50% within 20 minutes.

The new method of modification with Ag nanoparticles that are stable at 400 °C and above can be applied to modify various materials such as metal oxides, activated carbons, carbon nanotubes, etc.

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 25-19-00598), <https://rscf.ru/project/25-19-00598/>.

Sklyarova K.N., Kiskina A.A., Ageeva L.D., Kazantseva T.Yu.

DETERMINATION OF THE DETECTION LIMIT FOR HEAVY METALS IN AQUEOUS SOLUTIONS BY EDXRF SPECTROMETRY

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPHI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: kristina.sklyarova.04@mail.ru*

Energy-dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) spectrometry is widely used for non-destructive elemental analysis. However, when analyzing liquid samples, the method encounters a number of limitations, primarily due to low sensitivity for determining low element concentrations. Consequently, approaches aimed at increasing its analytical efficiency, including studied solution preconcentration, become particularly relevant.

In X-ray fluorescence analysis practice, boric acid is frequently applied as a substrate or auxiliary material during sample preparation, enabling the formation of a homogeneous layer for subsequent measurement.

In the work, the research of the detection limit for heavy metals in aqueous solutions was conducted by a WEPPER 2510 energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometer.

The study zeroed in on three interrelated objectives:

1. To determine the detection limit for concentrations reliably recorded by the instrument after sample preconcentration.
2. To investigate the reproducibility of the calibration dependence when analyzing freshly prepared solutions.
3. To assess the adaptability of the methodology and the comparability of results on free analytical objects.

The obtained results have been successful in assessing the diagnostic capabilities of the equipment used and confirmed the feasibility of the chosen approach to analyze liquid samples.

Vorozheikin S.E., Ozhereliev O.A., Kazantseva T.Yu.

STUDY OF NUCLEAR-PURE ZIRCONIUM FLUORIDE SUBLIMATION BY HSC CHEMISTRY SOFTWARE

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: steff042003@mail.ru*

Fluoride technology for zircon processing is a competitive alternative to traditional methods, ensuring the production of nuclear-pure zirconium required for the technological sovereignty of the Russian Federation in the interests of Rosatom State Corporation.

The aim of the work is to determine the optimal conditions for sublimation purification of zirconium tetrafluoride ZrF_4 from transition metal impurities applying the HSC Chemistry software package.

Calculations for a multicomponent system ZrF_4 - impurity fluorides (Fe, Ni, Co, Cu, Mn) within the temperature range of 900–1700 K were performed. The influence of the dilution ratio of the carrier gas (Ar and He) under reduced pressure (0.013 atm) and normal pressure was studied.

Zirconium tetrafluoride stably passed to the gas phase. The thermodynamic instability of ZrF_3 in the vapor phase was confirmed (its concentration in the vapor phase is minimal compared to other fluorides).

Increasing the inert gas fraction shifts the sublimation to lower temperatures. When the ratio (He/Ar:Air) increases from 20:1 to 100:1, the temperature of 100% sublimation decreases from 1180–1200 K to 1120–1150 K.

Reducing the pressure to 0.013 atm provides substantial lowering the sublimation temperature by 150–200 K. The combination of maximum dilution and vacuum results in complete system sublimation at temperatures below 900 K.

The limiting impurity determining absolute purification was found to be FeF_3 , which remains in the solid residue before reaching 100% sublimation.

Optimal conditions for sublimation purification of ZrF_3 (temperature range of 1000–1050 K when completely passing to the gas phase) are achieved by combining high dilution with inert gas, reduced pressure and a zirconium nozzle.

*Zakharova P.T., Denisov E.S., Chentsov F.A., Molokov P.B.,
Kazantseva T.Yu.*

DEVELOPMENT OF THE GAS CHROMATOGRAPHIC METHOD ANALYZING IMPURITIES IN GASEOUS CHLORINE

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: pzaharova759@gmail.com*

Gaseous chlorine (Cl_2) – a yellow-green choking gas – is widely used in microelectronics for etching and purification. Its high chemical reactivity complicates analytical measurements, as direct exposure of chlorine to gas chromatograph components can cause corrosion and distortions in analytical data.

Analyzing impurities in Cl_2 , the method using two sequentially connected columns was developed: the first column with HayeSep D sorbent and the second column with Ca-A sorbent, helium being applied as the carrier gas. The core principle of the method is to separate the aggressive chlorine on the first column followed by backflushing, which enables safe analysis of impurity on the second one.

Calibration and analysis using a standard gas mixture of N_2 , CO_2 , and O_2+Ar at concentrations up to 10 ppm were made. The results showed that the first column effectively separated CO_2 and the main chlorine component, while the second column enabled to separate the remaining gases (O_2 , Ar, and N_2) due to the molecular sieve having fixed pore size. Rectification was carried out by a thermal conductivity detector, and the gas 10-port valve scheme provided column switching and backflushing.

The developed method reliably separates the main aggressive component from impurities preventing corrosion and side reactions in the system. The technique ensures accurate and reproducible analysis of low impurity concentrations in gaseous chlorine. Thus, it can be applied in the microelectronics industry and research laboratories to solve analytical problems.

*Секция
Материалы и технологии атомной отрасли*

Антонов Н.А., Михальченко А.П., Подосинников А.А., Решетин В.Л.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ, ИЗМЕРЕНИЙ И МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ОПТОВОЛОКОННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕСУРСНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ГРАФИТОВЫХ КЛАДOK РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК РБМК-1000

*АО «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский
институт энерготехники имени Н.А. Доллежалея» (АО «НИКИЭТ»),
107140, г. Москва, пл. Академика Доллежалея, 1
e-mail: nikiet@nikiet.ru*

На завершающей стадии эксплуатации уран-графитовых реакторных установок (РУ) типа РБМК-1000 главным фактором, ограничивающим ресурс энергоблока, является растрескивание графитовых блоков с последующим искривлением графитовых колонн, которое приводит к искривлению технологических каналов (ТК) и каналов системы управления и защиты (СУЗ), а также к исчерпанию зазора между периферийным рядом графитовых колонн ячеек с каналами охлаждения отражателя и металлическим кожухом (Сх. «КЖ»), являющимся барьером безопасности.

С целью контроля формоизменения графитовой кладки и планирования ремонтных работ ежегодно выполняются измерения пространственного искривления технологических каналов и каналов СУЗ.

Новым словом в измерении прогиба ТК стало применение оптоволоконных систем, позволяющих проводить измерения без выгрузки тепловыделяющих сборок (ТВС) из реактора, устанавливая измерительный зонд непосредственно в центральную трубку ТВС, что существенно сокращает время проведения контроля.

Дальнейшим развитием данного направления является выполнение контроля прогиба ТК с помощью измерений пространственного искривления центральной трубки ТВС при работе реактора на мощности, что позволит оптимизировать последовательность внутриреакторного контроля, сократить общее время ремонтных работ в период останова и повысить безопасность эксплуатации РУ.

Совершенствование оптоволоконных систем измерения и увеличение возможностей их применения для различных элементов РУ (контроль формоизменения активной зоны, исследования вибрации парогенераторов и топливных сборок) способствует их внедрению на реакторах любого типа и в других отраслях науки и техники.

Арендаренко Г.О., Зарипова Л.Ф.

ДЕМОНТАЖ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯРОО

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: ga001@mail.ru*

В течение следующих 10–20 лет количество ядерных объектов, требующих вывода из эксплуатации, значительно возрастет. Вследствие этого вопросы безопасного вывода их из эксплуатации встают всё более остро и требуют внимательного рассмотрения.

Одним из основных этапов вывода из эксплуатации является демонтаж оборудования. Демонтаж включает разборку на отдельные части машин и аппаратов, снятие их с места, разборку разъёмных соединений и фрагментацию неразборных частей с целью приведения их в вид, пригодный для дальнейшей работы, с максимальным сохранением экономической ценности.

Методы фрагментации можно условно разделить на обычные, полудистанционные и дистанционные. Обычные методы применяются тогда, когда персонал находится непосредственно в зоне проведения работ в течение всего времени, требующегося для выполнения работ. Полудистанционные методы целесообразно применять тогда, когда персонал может находиться в зоне работ только часть времени, необходимого для выполнения операций. В этом случае персонал проводит только установку механизмов. Саму работу проводят дистанционно. Дистанционные методы требуются в тех случаях, когда персонал не может находиться непосредственно в зоне проведения работ из-за высокой радиационной опасности. В этом случае установка фрагментации управляется удалённо.

При выборе метода учитываются факторы: качество и возможность появления дефектов при резке, скорость процесса фрагментации, уровень квалификации оператора.

Значительные массогабаритные параметры и большая толщина стенок некоторых агрегатов усложняют как их демонтаж и дальнейшее перемещение или хранение, так и выбор способов фрагментации, как по месту установки, так и на участке разделки. Решением данной проблемы является фрагментация.

Воронин С.Ю., Хахалев М.С., Жабина А.М., Грачёв Е.К.

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАКОПЛЕНИЯ НАВЕДЁННОЙ АКТИВНОСТИ

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

В ходе комплексно-инженерного радиационного обследования одним из его областей исследования является измерение и расчёт уровня радиации конструктивных элементов зданий, сооружений и физических установок. При работе с нейтронными источниками излучения материалы, находящиеся вблизи источника, подвергаются их воздействию. При этом материалы претерпевают изменение внутреннего состава химических элементов из-за ядерных реакций. Одним из примеров является накопление радиоактивного Со-60 в нержавеющей сталях. Высокая активность требует более строгого соблюдения условий радиационной безопасности при работе с такими материалами. Для описания параметров процессов накопления наведённой активности в материалах реакторов используются реалистичные математические модели.

Создание математической модели накопления наведенной активности в материале при нейтронном облучении базируется на решении системы дифференциальных уравнений баланса ядерных превращений, учитывающих скорость генерации радионуклидов под действием потока частиц и их одновременный радиоактивный распад.

В модели главным фактором являются время облучения, плотностью потока и период выдержки после облучения, позволяя рассчитывать удельную активность как функцию этих переменных. Создание модели выполняется путем создания расчетных данных с целью сравнения результатов активационных экспериментов на исследовательских реакторах.

В России на 2026 год существует 2 подобные модели: PRACTICA – расчет наведенной активности и защиты реакторных установок, Интерактивный комплекс (МИФИ) – расчет наведенной активности и определение изотопного состава.

Итоговая модель дает возможность прогнозировать активность в конкретный момент времени, оценивать радиационную опасность материалов после эксплуатации и оптимизировать режимы выдержки обработанных компонентов ядерных установок.

Гридневский К.И., Карташов Е.Ю.

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЫВОДИМЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

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

В настоящее время для мониторинга выводимых из эксплуатации объектов атомной энергии (ОИАЭ) применяются роботизированные комплексы, выполняющие задачи обследования, отбора проб, замеров, дезактивации и демонтажа.

Основными проблемами их использования являются: обеспечение надёжной двусторонней связи в условиях массивных железобетонных конструкций и жёсткого радиоактивного излучения, дезактивация оборудования после работы в радиоактивной среде, низкая проходимость в загромождённых пространствах, а также экономическая эффективность и длительный цикл разработки.

Особый интерес представляют робототехнические комплексы, способные перемещаться по вертикальным поверхностям. В рамках проведённого анализа рассмотрены три основные технологии фиксации: магнитная (робот NuBot), вакуумная (погружной робот по патенту РФ) и аэродинамическая (HausBots НВЗ). Каждый комплекс имеет свои преимущества и ограничения. Магнитная система обеспечивает высокую грузоподъёмность и радиационную стойкость, но работает только на ферромагнитных стальных поверхностях. Вакуумная универсальна по материалам и пригодна для работы под водой, но требует гладкости поверхности и постоянного энергопотребления. Аэродинамическая позволяет перемещаться по любым шероховатым поверхностям (бетон, кирпич, стальные конструкции), однако сложна конструктивно и энергозатратна.

Основным результатом работы следует считать выбор за основу разработки робототехнический комплекс NuBot. Это оборудование в зависимости от модификации оснащается пассивной подвеской и магнитными гусеницами для успешного преодоления препятствий с грузоподъёмностью до 3,6 кг, что в 3,67 раз превышает его собственную массу (980 г) и делает его перспективным для мониторинга ОИАЭ. Но, также данная конструкция обладает и рядом недостатков, которые в дальнейшем, при проектировании и разработке аналогичного проекта необходимо учесть в своей работе, определив тем самым основные характеристики своего оборудования.

Жабина А.М., Воронин С.Ю., Хахалев М.С., Грачёв Е.К.

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ ДЛЯ МОДУЛЯ СОРТИРОВКИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: alinaz.240606@gmail.ru*

Рост объёмов радиоактивных отходов (РАО), образующихся в результате деятельности АЭС и промышленных предприятий, ставит перед обществом задачу их безопасной утилизации. Ключевой этап этого процесса – сортировка: она позволяет выделить фракции с разным уровнем активности и подобрать оптимальный метод хранения или переработки. Особую сложность представляет разделение отходов на: простые РАО и особые, отходы с высокой активностью, сложной морфологией или наличием специфических радионуклидов, требующие специальных мер безопасности.

На Ленинградской АЭС производится вывод из эксплуатации 1-го и 2-го энергоблоков с реакторами РБМК-1000. Ключевая особенность демонтажа – наличие в конструкции активной зоны графитовой кладки (порядка 1 700 т). В процессе многолетней эксплуатации графит крошится, образуя радиоактивную крошку. По уровню активности такие отходы относятся к особым РАО 2-го класса, что делает ручную работу с ними невозможной.

С целью выявления преимуществ и недостатков конструктивных решений и последующего совершенствования технологии сортировки РАО научной группой СТИ НИЯУ МИФИ разрабатывается макет концептуального модуля сортировки РАО. Функционал модуля включает: зону приёма с датчиками для оценки характеристик объектов (уровень активности, размер, агрегатное состояние и т.д.), автоматизированное устройство перемещения объектов в разные контейнеры/на разные площадки в зависимости от результатов оценки, возможность передачи объекта на другой модуль для последующей упаковки и транспортировки к месту переработки или захоронения.

Таким образом, реализация проекта решит проблему неэффективного распределения ресурсов при демонтаже объектов атомной отрасли. В докладе авторами будут представлены разработанные для макета механические узлы.

Мехряков И.К., Носков М.Д.

ДЕГРАДАЦИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СРЕДЫ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

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

В атомной энергетике надежное электроснабжение критически важно для безопасной работы предприятий. Силовые кабельные линии (СКЛ) являются ключевым элементом системы электроснабжения атомных станций и радиохимических производств.

На радиохимических предприятиях СКЛ подвергаются комплексному воздействию агрессивных факторов, главным из которых является ионизирующее излучение. Данный фактор провоцирует ряд физико-химических процессов в структуре изоляционных материалов: разрыв ковалентных связей, образование свободных радикалов, протекание окислительных реакций.

Воздействие ионизирующего излучения приводит к снижению электрической прочности изоляции, ухудшению механической эластичности и появлению микротрещин.

Помимо ионизирующего излучения на СКЛ воздействуют химические агенты и органические растворители, используемые в технологических процессах. Также важную роль играют температурные условия, т.к. многие процессы протекают при температурах 100-200°C и выше, ускоряя деградацию материалов. Механические нагрузки дополнительно изнашивают изоляцию линий.

Деградация изоляции проявляется в снижении электрической прочности, ухудшении механической эластичности, появлении микротрещин и расслоений, увеличении диэлектрических потерь. Особенно опасно комплексное воздействие всех агрессивных факторов, ускоряющее процессы разрушения.

Для повышения надежности кабельных линий в условиях воздействия ионизирующего излучения в качестве изоляции применяются специальные материалы, такие как сшитый полиэтилен, этиленпропиленовая резина, фторопласты и т.д.

Анализ показал, что правильный выбор материалов и методов защиты позволяет значительно продлить срок службы кабельных систем в условиях радиационного воздействия.

Орловский А.Е., Зарипова Л.Ф.

РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОИАЭ

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

Эксплуатация объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) сопряжена с рядом сложных радиационных рисков, требующих постоянного контроля и оценки. Радиоактивное загрязнение оборудования, строительных конструкций, технических коммуникаций и окружающей среды представляет серьезную угрозу как для персонала, так и для населения в санитарно-защитных зонах. Поэтому радиационное обследование ОИАЭ является неотъемлемой частью процессов эксплуатации, вывода из эксплуатации, ремонта, демонтажа и обращения с радиоактивными отходами.

Радиационное обследование – это комплекс мероприятий, направленных на получение достоверных данных о радиационной обстановке внутри и на площадках объектов, позволяющий оценить уровень и характер загрязнения, спектр радионуклидов, физико-химические параметры загрязнений, а также сформировать программу мероприятий по обезвреживанию и минимизации рисков. Кроме того, данный комплекс работ содействует обеспечению радиационной безопасности персонала и окружающей среды, а также соблюдению требований нормативных документов и международных стандартов в области обращения с радиоактивными веществами и отходами.

Данные мероприятия позволяют оценить следующие параметры, характеризующие радиационную обстановку:

- мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения;
- плотность потока бета-частиц и нейтронов;
- уровень радиоактивного загрязнения поверхностей (снимаемые и неснимаемые загрязнения);
- объемная активность радионуклидов в воздухе помещений;
- радионуклидный состав загрязнений
- содержание химически токсичных и опасных веществ в радиоактивных средах.

Пытин А.О., Карташов Е.Ю.

РАЗРАБОТКА НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДЕМОНТАЖА ГРАФИТОВОЙ КЛАДКИ

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

Одной из наиболее сложных задач при выводе из эксплуатации реакторов РБМК-1000 является демонтаж графитовой кладки активной зоны. Высокий радиационный фон (до тысяч рентген в час), запылённость, деформация блоков и отсутствие точной 3D-модели конструкций создают серьёзные ограничения для существующих роботизированных комплексов. Тяжёлые манипуляторы неповоротливы, фрезерование приводит к образованию взрывоопасной графитовой пыли и быстрому износу инструмента, гидроабразивная резка даёт большие объёмы радиоактивной пульпы, а мобильные гусеничные роботы имеют низкую проходимость по завалам. Для решения этих проблем нами предложена технология механического извлечения графитовых блоков с использованием специализированного навесного оборудования — захвата с нижним подводом, устанавливаемого на порталный или мостовой манипулятор.

В работе представлена конструкторская проработка разрабатываемого захвата. Устройство включает нижнюю и верхнюю поворотные лопатки, лопатку с независимым вертикальным приводом, две пары тонких боковых центрирующих захватов, а также систему технического зрения для определения фактической высоты блока или фрагментов. Технология извлечения состоит из пяти этапов: позиционирование захвата на уровне нижнего торца блока, раскрытие нижней лопатки и её подвод под блок, опускание верхней лопатки до касания с верхним торцом, зажим блока с усилием 100–200 Н и плавное вертикальное отделение от кладки, транспортировка и погрузка в контейнер с последовательным складыванием лопаток. Проведённые расчёты на прочность основных несущих элементов подтвердили работоспособность конструкции и позволили оптимизировать массогабаритные характеристики в соответствии с грузоподъёмностью манипулятора. По сравнению с традиционным фрезерованием предлагаемый захват обеспечивает минимальное пылеобразование, снижение взрывопожароопасности, увеличение ресурса рабочих органов до нескольких дней и сокращение времени на извлечение одного блока с 10–20 до 2–5 минут.

Смирнов М.А., Зарипова Л.Ф.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯРОО

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: maksimsmirnov806@gmail.com*

Вывод из эксплуатации (ВЭ) ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО) требует единой системы лабораторного контроля объектов на базе трёх направлений: лаборатория радиационного контроля (ЛРК), лаборатория нейтронного контроля (ЛНК) и лаборатория био-гамма-метрии (БГМ). Данные для таких исследований поставляют комплексное инженерное и радиационное обследование (КИРО), формирующее задачи лабораториям на всех этапах.

Подразделения работают в информационной, методологической и хронологической связке. ЛРК выполняет массовый мониторинг, выявляя рост радионуклидов в воздухе, воде, оборудовании. Это данные для ЛНК, которая по нейтронному излучению отличает ядерные материалы от обычного загрязнения. БГМ по данным об изотопном составе настраивает спектрометр излучения человека (СИЧ) для прямого контроля внутреннего облучения персонала.

На этапе подготовки вывода из эксплуатации ЯРОО ЛРК создаёт карту загрязнений, ЛНК ищет скрытые скопления топлива, БГМ фиксирует фоновые дозы. При демонтаже ЛРК контролирует аэрозоли и сортирует отходы, ЛНК исключает пропуск делящихся материалов, БГМ в экспресс-режиме выявляет внутреннее поступление радионуклидов. При дезактивации ЛРК оценивает её эффективность. На этапе обращения с РАО ЛРК классифицирует отходы, ЛНК контролирует упаковки с ядерными материалами. На финальном этапе ЛРК подтверждает безопасность площадки, ЛНК — чистоту высвобождаемых материалов, БГМ формирует итоговые дозы персонала.

Рассмотрен анализ системного взаимодействия лабораторных комплексов на всех этапах ВЭ ЯРОО.

Особенность работы лабораторий при ВЭ — высокая оперативность, адаптация к нестандартной геометрии объектов и защита персонала от мощного гамма-фона. Комплексный подход повышает безопасность и экономическую эффективность ликвидации ядерного загрязнения.

Ткачук С.Р., Зарипова Л.Ф.

ВЫПОЛНЕНИЕ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ “ДУК”

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

Вывод из эксплуатации (ВЭ) объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) представляет собой многоэтапный процесс, включающий комплексное инженерное и радиационное обследование (КИРО), дезактивацию, демонтаж строительных конструкций и оборудования, а также обращение с радиоактивными отходами (РАО). Успешная реализация всех этапов возможна только при интеграции результатов КИРО с правильно подобранными технологиями дезактивации, демонтажа и переработки материалов.

КИРО формирует исходную карту радиационного загрязнения, технического состояния оборудования и объёмов РАО. На основе этих данных выбираются методы дезактивации: химические, физические и электрохимические. Для труднодоступных вертикальных поверхностей эффективны гелиевые составы.

Для демонтажа железобетонных конструкций (фундаменты, биологическая защита) наиболее эффективны гидромолоты, клинья, проволочные алмазные пилы и сверлильные станки. Демонтаж радиоактивного оборудования ведётся в условиях высоких уровней излучения, что требует применения дистанционно управляемых комплексов (ДУК) с манипуляторами, системой наблюдения и набором режущих инструментов. Комплексный подход, объединяющий данные КИРО, многообразие методов демонтажа и дезактивации, а также строгую фрагментацию РАО, позволяет безопасно и экономически эффективно завершить вывод из эксплуатации ОИАЭ с возвратом объекта в исходное состояние.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Р.В., Большов Л.А. и др. Методические подходы к комплексному инженерному и радиационному обследованию объектов ядерного наследия // Атомная энергия. – 2011. – Т. 110, №3. – С. 145-151.
2. Афанасьев И. А. Государственное регулирование безопасности при выводе из эксплуатации ЯРОО: курс лекций. — М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2024.
3. Кутьков В.А., Ткаченко В.В., Романович И.К. и др. Обеспечение радиационной безопасности персонала при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии: практическое руководство / под ред. В.А. Кутькова. – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2019. – 176 с.

Хахалев М.С., Жабина А.М., Воронин С.Ю., Федянин А.Л., Грачев Е.К.

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЛЬТА-РОБОТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕЗАКТИВАЦИИ

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

Автоматизация процессов дезактивации на объектах атомной отрасли связана с рядом технических трудностей: необходимостью работы в агрессивных химических средах, наличием радиационного фона и сложной геометрией обрабатываемых поверхностей. Традиционные многосвязные манипуляторы подвержены накоплению загрязнений в сочленениях и требуют частого обслуживания. Это снижает эффективность их применения в безлюдном режиме. Целью данной работы является анализ возможности применения дельта-робота в качестве средства механизации процессов дезактивации и обоснование его преимуществ перед традиционными кинематическими схемами для работы в радиационно-опасных условиях.

Дельта-робот – манипулятор с параллельной кинематикой, чьи приводы вынесены за пределы рабочей зоны. Такая компоновка конструктивно исключает попадание реагентов и радиоактивных отложений на критические узлы. Малая инерционность подвижных частей обеспечивает высокую скорость и точность позиционирования дезактивирующего инструмента.

К основным ограничениям дельта-роботов относят фиксированный рабочий объем и ограниченную грузоподъемность, что требует предварительного анализа геометрии обрабатываемых объектов.

На выбор данного типа манипулятора влияют характеристики объекта (размер, форма, требуемая равномерность обработки) и условия проведения работ (агрессивность среды, мощность эквивалентной дозы, требования к безлюдности процесса). Дельта-робот наиболее эффективен для скоростной дезактивации серийных деталей и наружных поверхностей со сложной геометрией.

В результате проведенного анализа обоснована применимость дельта-робота для процессов дезактивации. Предложена концептуальная схема компоновки рабочего участка, учитывающая ограничения по рабочему объёму и грузоподъёмности.

Хисматуллин Н.С., Карташов Е.Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ, С РАЗВИТОЙ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: n17485668@gmail.com*

При выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов одной из основных задач является дезактивация загрязнённых поверхностей, оборудования и технологических помещений. При этом, наиболее сложными для очистки являются поверхности с развитой удельной поверхностью: пористые материалы, фильтрующие элементы, теплообменное оборудование и трубопроводные системы, где радиоактивные загрязнения накапливаются в труднодоступных зонах.

Для решения данной проблемы необходимы узконаправленные устройства и приспособления, обеспечивающие эффективное удаление радиоактивных материалов и соблюдение требуемых радиационных норм. Эффективность дезактивации во многом определяется выбором специализированного оборудования, способного обеспечить высокую степень очистки при минимальном образовании вторичных радиоактивных отходов.

В рамках проведённых исследований выполнен анализ существующих технических систем, применяемых для удаления радиоактивных загрязнений с поверхностей сложной геометрии. Рассматривались методы механической, химической, ультразвуковой и комбинированной дезактивации.

Особое внимание уделялось оборудованию, использующему локализованное воздействие активных сред, что позволяет повысить эффективность очистки без повреждения основной конструкции. Установлено, что применение таких устройств с контролируемыми параметрами воздействия значительно повышает качество дезактивации и снижает дозовую нагрузку на персонал.

Основным результатом проведённого анализа является обоснование применения специализированного оборудования для дезактивации радиоактивных загрязнений с развитой удельной поверхностью, а также выбрано направление дальнейшей разработки, что будет способствовать повышению радиационной безопасности, уменьшению образования вторичных отходов и в целом, снижению общих затрат на обращение с радиоактивными отходами.

Чуваева Е.А.

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

*Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ»),
107140, Москва, ул. Малая Красносельская, дом 2/8, корпус 5,
e-mail: chuvaeva@secnrs.ru*

В настоящее время аддитивные технологии являются перспективным направлением развития многих отраслей промышленности. Преимущества данных технологий уже признаны аэрокосмической, медицинской, машиностроительной отраслями, в связи с чем Правительством РФ в 2021 году была утверждена «Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года» [1].

Однако внедрение новых технологий в атомную отрасль требует больших временных затрат, в связи с необходимостью подтверждения, что инновационные технологии позволяют обеспечить требуемый уровень безопасности ОИАЭ. С целью апробирования возможности применения аддитивных технологий в атомной отрасли Госкорпорация «Росатом» создала несколько специализированных центров, ведущих разработку методов моделирования, изготовления и контроля изделий [2]. Параллельно с этим разрабатывается нормативная документация, устанавливающая требования к исходному сырью, изделиям, получаемым с использованием аддитивных технологий, а также методам контроля и испытаний данных изделий.

В настоящей работе представлен обзор существующих нормативных документов в области аддитивных технологий, а также приведены рекомендации по внедрению в существующие федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии требований, которые позволят применять аддитивные методы производства для изготовления оборудования атомных станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 14 июля 2021 г. № 1913-р «Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года».
2. Бизнес-сессия по развитию аддитивных технологий в ГК «Росатом» [Электронный ресурс]. – URL: <https://aatd.ru/events/biznes-sessiya-po-razvitiyu-additivnykh-tekhnologiy-v-gk-rosatom/1406/1406/1406/> (дата обращения 07.03.2026)

Gridnevskiy K.I., Kartashov E.Yu., Kineva T.A.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ROBOTIC SYSTEMS FOR MONITORING DECOMMISSIONED NUCLEAR ENERGY FACILITIES

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: gridnevskijk@gmail.com*

Currently, one of the pressing issues is equipping the monitoring of decommissioned nuclear power facilities with reliable robotic systems to perform inspection, sampling, measurement, decontamination, and dismantling tasks. The main challenges using such systems are ensuring reliable two-way communication in conditions of massive reinforced concrete structures and high-intensity ionizing radiation, as well as decontaminating the equipment after operating in the radioactive environment. The aim of the work is to conduct a comparative analysis of robotic systems based on the method of fixation and to identify the most effective system for further development.

Robotic systems that can move on vertical surfaces are of particular interest. Within the framework of the analysis, three main fixation technologies were considered: magnetic (NuBot robot), vacuum (submersible robot according to the Russian patent), and aerodynamic (HausBots HB3). Each system has its advantages and limitations. The magnetic system provides high payload capacity and radiation resistance but it works only on ferromagnetic steel surfaces. The vacuum system is universal in terms of materials, and it is suitable for underwater operation but requires a smooth surface and constant power consumption. The aerodynamic system can move on any rough surfaces (concrete, brick, steel structures), but it is constructively complex and energy-intensive.

The main result of the comparative analysis is the selection of the NuBot robotic system as the basis for development. Depending on the modification, the equipment is fitted with a passive suspension and magnetic tracks to successfully traverse obstacles. However, when created, this design has a number of shortcomings that must be taken into account when designing and developing a similar project, thereby determining the key characteristics of the equipment.

Khakhalev M.S., Zhabina A.M., Voronin S.Y., Fedyanin A.L., Grachev E.K., Kineva T.A.

APPLICATION OF DELTA ROBOTS FOR DECONTAMINATION PROCESSES

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: verityul@mail.ru*

The relevance of the study is determined by the fact that automation of decontamination processes at nuclear industry facilities is associated with a number of technical challenges: the need to operate in aggressive chemical environments, the presence of radiation background, and the complex geometry of the surfaces being treated. Traditional multi-link manipulators are prone to contaminant accumulation in joints and require frequent maintenance. This reduces their effectiveness in unattended operation. The aim of the work is to analyze the feasibility of using a delta robot as a means of mechanizing decontamination processes and to substantiate its advantages over conventional kinematic schemes for operation in radiation-hazardous conditions.

The delta robot is a manipulator with parallel kinematics which actuators are located outside the working zone. This design prevents reagents and radioactive deposits from reaching critical components. The low inertia of the moving parts ensures high speed and positioning accuracy of the decontamination tool.

The main limitations of delta robots include a fixed working volume and limited payload capacity which requires preliminary analysis of the geometry of the objects to be treated.

The choice of this type of manipulator is influenced by the characteristics of the object (size, shape, required uniformity of treatment) and the operating conditions (aggressiveness of the environment, equivalent dose rate, requirements for unattended operation). The delta robot is most effective for high-speed decontamination of serial parts and external surfaces of complex shape.

As a result of the analysis carried out, the applicability of the delta robot for decontamination processes has been substantiated. A conceptual layout of the working area has been proposed which takes into account the limitations on working volume and payload capacity.

Kupri A.A., Kartashov E.Yu., Kineva T.A.

USE OF DETECTORS ON UNMANNED AERIAL VEHICLES TO MONITORE RADIATION-HAZARDOUS FACILITIES

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: kupriarsentiy@gmail.com*

Currently, various types of unmanned aerial vehicles (UAVs) are being used to monitor the environment of radiation-hazardous facilities. Depending on their design features (copter, airplane, or tiltrotor), they can perform a wide range of tasks, from collecting information on the radioactive contamination of the surrounding area to inspecting the condition of buildings and structures. Therefore, the choice of an UAV depends primarily on the specific task at hand. The purpose of this paper is to compare various equipment (sensors) used on UAVs which should fully ensure the collection of the required information.

As part of the research, an analysis of ionizing radiation detectors was conducted. These detectors are used in various robotic systems, including those compatible with UAVs and available on the Russian market. The two main detectors examined are of the scintillation type, which is due to the requirement for high sensitivity and low signal accumulation time. To objectively compare the detectors in the context of monitoring radiation-hazardous facilities, their technical specifications were examined. These data are presented in Table 1. This allows us to assert their comprehensive use that partially solves the general problem of collecting multiple pieces of information.

Table 1 – Comparative efficiency of detectors

| Detector Type | Advantages | Disadvantages |
|--|---|-------------------------------------|
| Light scintillation (GRDU-15S) | High sensitivity with low weight; can be installed on mini UAVs | Inability to identify radionuclides |
| Gamma-ray spectrometer (Geoscan 401 Gamma) | Identification of isotopes; construction of spectrometric maps | Large mass, high cost |

The main result of the comparative analysis is the recommendations for choosing a detector for an unmanned aerial vehicle, depending on the requirements of the assigned tasks.

Voronin S.Y., Zhabina A.M., Khakhalev M.S., Grachev E.K., Valeeva E.V.

MATHEMATICAL MODEL FOR INDUCED ACTIVITY ACCUMULATION

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: mrjimjey@gmail.com*

One of the areas of investigation involves measuring and calculating the radiation levels of building structural elements, facilities, and physical installations during a comprehensive engineering radiation survey. When working with neutron radiation sources, materials located near the source are exposed to radiation. As a result, these materials undergo changes in their internal chemical composition due to nuclear reactions. One of the examples is the accumulation of radioactive Co-60 in stainless steels. High activity requires stricter compliance with radiation safety regulations when handling such materials. To describe the parameters of induced activity accumulation processes in reactor materials, realistic mathematical models are used.

The development of a mathematical model for induced activity accumulation in a material under neutron irradiation is based on solving a system of differential equations for the balance of nuclear transformations, taking into account the rate of radionuclide generation under the influence of a particle flux and their simultaneous radioactive decay.

In the model, the key factors are irradiation time, flux density, and the post-irradiation cooling period, making it possible to calculate specific activity as a function of the variables. The model is developed by generating calculated data to compare with the results of activation experiments conducted on research reactors.

There are two similar models in Russia. First, PRACTICA is used for calculating induced activity and shielding of reactor facilities. Second, Interactive Complex (MEPhI) is applied for calculating induced activity and determining isotopic composition.

The resulting model enables activity prediction at a specific point in time, assessment of the radiation hazard of materials after operation, and optimization of cooling regimes for spent components of nuclear facilities.

*Zhabina A.M., Voronin S.Yu., Khakhalev M.S., Grachev E.K.,
Kazantseva T.Yu.*

OPTIMIZATION OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT BY AUTOMATED SORTING TECHNOLOGIES

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: alinaz.240606@gmail.ru*

The dismantling and decommissioning of nuclear facilities are inevitably followed by generating radioactive waste (RAW). Mixing simple RAW (e.g., fragments of graphite masonry) and special RAW (graphite dust) increases disposal cost. In-situ automated sorting of wastes enables to reduce the radiation exposure to personnel and optimize RAW management.

Due to the relevance of the issue, a research team at Seversk Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI (STI NRNU MEPhI) is developing a prototype of a conceptual RAW sorting module. The module comprises a receiving area equipped with sensors to measure activity levels and particle size; a transport system (conveyors and manipulators) to move objects; a sorting unit to automatically direct wastes into different containers or storage areas depending on its characteristics.

In addition, within the framework of the work a key objective is to develop models of the main mechanical components using 3D printing to evaluate the layout of the mechanisms and make design modifications.

Existing solutions for RAW sorting include the system of FSUE RADON (Russia) making gamma-spectrometric analysis, but it is stationary and requires manual loading. The mobile module of NUKEM Technologies (Germany) is suitable for temporary sites, but it is less effective for fine-dispersed fractions. The Veolia LLW Sorting system uses robotic manipulators, but it is characterized by high cost.

Thus, implementing such solutions enhances both safety and economic efficiency of waste management by automation and mobility. In the report, the mechanical components developed for the prototype will be discussed.

*Секция
Автоматизация, робототехника и техническая
кибернетика*

Бондарев А.Е., Логинова Е.С.

ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ АТОМНОЙ СТАНЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: bondarevandrej413@gmail.com*

Одной из актуальных проблем в атомной отрасли в настоящее время является неустойчивость региональной энергосистемы. Атомные электростанции (АЭС) являются системообразующими элементами региональных энергосистем. Однако особенности их работы — инерционность, ограниченный диапазон регулирования мощности, жёсткие требования к ядерной безопасности — оказывают существенное влияние на статическую и динамическую устойчивость энергосистемы.

Целью данной работы является анализ влияния АЭС на устойчивость региональной энергосистемы в штатных и аварийных режимах, а также оценка мер по повышению надёжности электроснабжения.

В ходе работы рассматриваются роль АЭС в балансе активной и реактивной мощности региона, особенности поддержания частоты и напряжения при работе атомной станции. Анализируется поведение АЭС при внезапных изменениях нагрузки и при аварийных отключениях в энергосистеме. Приводятся технические меры повышения устойчивости: автоматическое регулирование возбуждения, резервирование собственных нужд, диспетчерское управление и противоаварийная автоматика.

Следовательно, мы приходим к выводу, что влияние АЭС на устойчивость региональной энергосистемы имеют две стороны: с одной стороны, АЭС обеспечивает стабильное базовое электроснабжение, с другой — ограниченные регулировочные возможности требуют особого подхода к интеграции станции в энергосистему. Дальнейшая работа предполагает создание модели переходного процесса в региональной энергосистеме и разработку рекомендаций для системного оператора.

Борисов Д.А., Федянин А.Л., Подосинников В.В., Мельникова Н.А.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАСТИНЫ С ДЕФЕКТАМИ МЕТОДАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: borisov22222@gmail.ru

Особую трудность при автоматическом контроле качества продукции составляет распознавание поверхностных дефектов у объектов с высоким коэффициентом отражения.

Целью данной работы является экспериментальное выявление методов предобработки изображений, дающих лучшую «читаемость» дефектов на металлизированной пластине.

Изображение пластины, на которую были нанесены дефекты, обрабатывалось с помощью алгоритма с применением следующих функций и методов библиотеки OpenCV: размытие по Гауссу, медианный фильтр, билатеральный фильтр, эквализация гистограммы, адаптивная эквализация гистограммы, глобальная бинаризация, адаптивная бинаризация, эрозия, дилатация, детектор границ Кэнни, градиентные фильтры (оператор Собеля, оператор Робертса). Лучшие результаты представлены на рисунке 1.

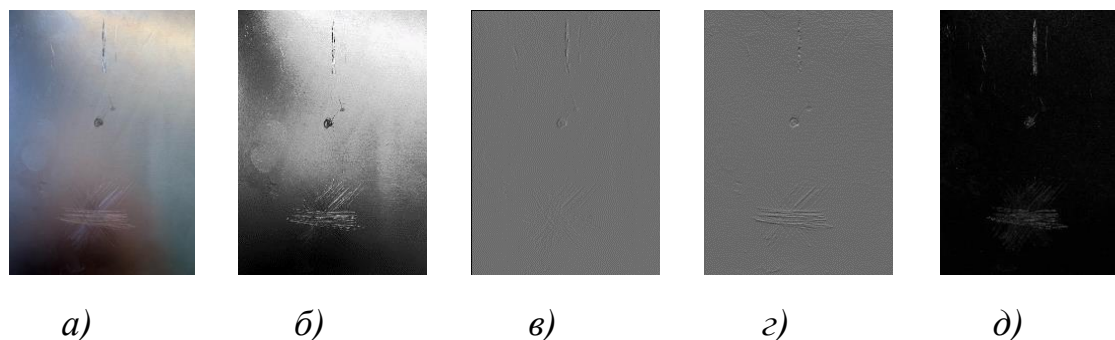


Рисунок 1 – Результаты обработки изображения с дефектами
а) исходное изображение, б) эквализация, в) градиентный (оператор Собеля X), г) градиентный (оператор Собеля Y), д) градиентный (оператор Робертса)

Визуальная оценка обработанных изображений показала, что метод эквализации гистограммы, фильтры на основе градиента (операторы Собеля, Робертса) повысили контраст дефектов.

Буткеев К.А., Иванов К.А.

МОДЕРНИЗАЦИЯ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ЩТК С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РЕГИСТРАЦИИ И СИГНАЛИЗАЦИИ

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

Современные промышленные предприятия предъявляют повышенные требования к надежности, точности и оперативности контроля технологических параметров. В условиях устаревшего оборудования возникает необходимость модернизации существующих систем контроля на базе щитов технологического контроля (ЩТК) с целью повышения эффективности и безопасности производственных процессов.

Ключевым элементом системы является модернизированный щит технологического контроля, оснащённый программируемыми логическими контроллерами и интеллектуальными измерительными приборами. Устройства регистрации обеспечивают непрерывный сбор, хранение и обработку данных, а система сигнализации реализует своевременное оповещение оператора при выходе параметров за допустимые пределы.

Решение задачи основано на интеграции современных цифровых датчиков, контроллеров и интерфейсов визуализации, что позволяет автоматизировать процессы мониторинга и снизить влияние человеческого фактора. Использование интеллектуальных устройств обеспечивает возможность удалённого доступа к данным, диагностики состояния оборудования и анализа технологических процессов в реальном времени.

Результатом работы является разработанная и модернизированная система контроля, обеспечивающая повышение точности измерений, надежности функционирования и удобства эксплуатации. Внедрение данной системы способствует снижению аварийности, оптимизации технологических режимов и повышению общей эффективности производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программируемые контроллеры в задачах автоматизации: учебное пособие / под ред. Н.Н. Васильева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 448 с.
2. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2018. – 224 с.

Ворнаков Н.А., Иванов К.А., Троценко В.П.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ
ЗНАЧЕНИЯ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ФТОРА
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗАХ НА ВХОДЕ И ВЫХОДЕ
ПЛАМЕННОГО РЕАКТОРА**

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический 65.,
e-mail: nikvor0305@gmail.com*

Разработана автоматизированная система регистрации технологических параметров фтора в анодном газе, необходимых для изучения зависимости между интенсивностью, фиксируемой спектрометром, и самими параметрами газа. Система самостоятельно собирает данные в ходе длительных экспериментов без участия оператора. В её состав входят: спектрометр для регистрации длин волн, УФ-диод (365 нм) как источник излучения, высокоточный датчик давления и термистор для измерения температуры газа.

Схема собрана на платформе Arduino UNO и синхронно регистрирует температуру газа, давление, ток и напряжение на УФ-диоде. Для повышения точности измерений с датчика давления используется 16-битный АЦП ADS1115. Устройство оснащено ЖК-дисплеем для отображения данных в реальном времени. Для измерения высоких значений тока и напряжения на диоде применён принцип делителя напряжения.

Все параметры автоматически сохраняются на SD-карту с временной меткой, а также передаются на компьютер по протоколу UART. Это позволяет анализировать данные и оптимизировать газовую схему. Оператору больше не нужно вручную вести записи в течение длительного времени, что исключает человеческие ошибки и повышает достоверность результатов экспериментов.

Внедрение системы подтвердило её практическую значимость для длительных экспериментов с анодным газом. Система обеспечивает надёжный, точный и воспроизводимый сбор информации. Модульность конструкции и гибкость схемы позволяют адаптировать предложенную методологию для автоматизированного мониторинга других газовых сред.

*Демьянов А.В., Кимяев С.А., Кубасов А.А., Некрасов М.В.,
Тимонин С.В., Царёва Т.В., Шуркаев А.В., Юнин Д.А., Головина Е.А.*

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СЛИВА-
ЗАЛИВА ТОПЛИВНОГО РАСТВОРА ДЛЯ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК
РАСТВОРНОГО ТИПА**

*Федеральное государственное унитарное предприятие Российский
федеральный ядерный центр ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, д. 37.
e-mail: AVDemyanov@vniief.ru*

В данной работе представлено описание автоматизированной системы управления (АСУ) технологическим процессом слива-залива топливного раствора для исследовательских ядерных установок (ИЯУ) растворного типа. АСУ предназначена для обеспечения технологических работ по сливу/залливу топливного раствора (ТР) из корпуса/в корпус активной зоны, периодическому взятию проб ТР в процессе эксплуатации и нормализации ТР путем долива воды (восполнение потери воды при эксплуатации ИЯУ) и долива ТР (компенсация потерь при взятии проб ТР). При подготовке к технологическим работам к системе присоединяется вакуумный насос, а приемная трубка погружается в корпус активной зоны через топливный канал, верхний фланец которого выведен на плиту биологической защиты реактора.

АСУ состоит из аппаратного блока, автоматизированного рабочего места оператора, автоматизированного рабочего места контролера и местного пульта управления. АСУ осуществляет управление исполнительными механизмами, включение режимов работы по команде оператора, контроль состояния оборудования, индикацию величины давлений и наличие топливного раствора в приёмной ёмкости.

АСУ выполняет сбор, обработку, хранение и вывод информации в виде таблиц и графиков на экранах автоматизированных рабочих мест оператора и контролера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воинов А.М., Колесов В.Ф., Матвеев А.С. и др. Водный импульсный реактор ВИР-2М и его предшественники // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. – 1990. №3. Р.3-15.

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

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ШКАФА АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ КАФЕДРЫ ЭИАФУ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, 636036,
Томская область, г. Северск, Коммунистический проспект, 65,
e-mail: sssti@mephi.ru*

При создании лабораторной базы для студентов кафедры «Электроника и автоматизация физических установок» ключевым фактором становится стоимость оборудования. Особенно это важно при оснащении нескольких стендов, требующих индивидуального подхода. Значительную долю цены занимают не только оборудование, но и проектирование — разработка схем, выбор компонентов, компоновка. Проектирование каждого шкафа с нуля многократно увеличивает затраты. Поэтому актуально создать универсальный типовой проект шкафа автоматизации, который позволит распределить стоимость проектирования, сократить время разработки и снизить порог входа для новых лабораторных комплексов.

В работе разработан типовой проект такого шкафа для кафедры ЭиАФУ. Базовый элемент управления — контроллер ПЛК-210, достаточный для большинства учебных задач. Проект выполнен в САПР «Компас-Электрик» и включает принципиальные схемы, схемы подключения, чертежи компоновки. Универсальный шкаф адаптируется под разные установки с минимальными доработками.

Внедрение типового проекта позволяет распределить затраты на проектирование между множеством стендов, что важно при ограниченном бюджете. Стоимость проектирования для каждого следующего стенда стремится к нулю, а время ввода в эксплуатацию сокращается в разы. Решение — практический вклад в развитие лабораторной базы кафедры ЭиАФУ, готовое к показу студентам из разных общеобразовательных учреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления: учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 309 с.
2. Корнеев П.Е., Игнатъев А.А. Разработка учебно-исследовательского лабораторного стенда на базе программируемого логического контроллера СПК110 // Инженерный вестник Дона. — 2024. — № 9.
3. Отчет о НИР (ВГТУ). Разработка учебного стенда "Система автоматического управления на базе ОВЕН ПЛК-210" / Науч. рук. А. М. Науменко. — Витебск, 2025. — 36 с.

Косов П.А., Иванов К.А.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТРУБНОЙ ГАЛЕРЕЕ

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

Актуальность работы обусловлена необходимостью поддержания стабильного температурного режима в трубных галереях для предотвращения замерзания теплоносителя и снижения эксплуатационных затрат.

Целью данной работы является разработка двухуровневой системы автоматического поддержания температуры воздуха в трубной галерее, обеспечивающей дистанционный контроль и управление тепловентиляторами.

В процессе работы проводилось изучение технической документации на систему. Рассмотрена двухуровневая архитектура, включающая контроллеры управления тепловентиляторами (нижний уровень) и контроллер удалённого мониторинга и управления (верхний уровень). Нижний уровень осуществляет измерение температуры и включение тепловентиляторов по установкам с заданной разницей между температурой включения и отключения. Верхний уровень обеспечивает опрос всех модулей, отображение текущих параметров и сигнализацию аварийных состояний. Предусмотрена защита оборудования от перегрева и возможность резервного ручного управления.

Рассмотренная система наглядно демонстрирует, что применение распределённой двухуровневой архитектуры позволяет эффективно решать задачи терморегулирования в протяжённых трубных галереях, обеспечивает надёжность и ремонтпригодность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И.И., Петров П.П. Автоматизация процессов теплоснабжения протяжённых трубопроводных систем. Энергетика и автоматизация, № 3, 2021 г.
2. Руководство по эксплуатации САПТВ. Система автоматического поддержания температуры воздуха в трубной эстакаде. – Северск, 2024.
3. Сидоров С.А., Кузнецов К.В. Микроконтроллерные системы управления температурой в промышленных галереях. Приборы и системы управления, № 5, 2019 г.

Лукин М.Д., Рожко А.В.

БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ БДПТ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

*Новосибирский государственный технический университет НГТУ,
630073, г. Новосибирск, Новосибирской обл., пр. Карла Маркса, 20
e-mail: lu.maxim2014@yandex.ru*

Развитие ядерных технологий требует широкого внедрения робототехнических комплексов. Основным исполнительным механизмом в таких системах выступает бесколлекторный двигатель постоянного тока (БДПТ). Традиционно для управления БДПТ применяются датчики Холла. Однако в условиях воздействия ионизирующего (гамма- и нейтронного) излучения в кристаллах полупроводников накапливаются радиационные дефекты, что приводит к быстрой деградации и отказу датчиков.

Кроме того, наличие датчиков требует прокладки дополнительных сигнальных проводов от двигателя к системе управления. Для объектов атомной энергетики это создает серьезную проблему: каждый дополнительный провод усложняет конструкцию радиационно-защитных герметичных кабельных проходок. Переход к бездатчиковому векторному управлению позволяет вынести все уязвимые вычислительные компоненты в безопасную зону, оставив в радиационной среде только металлические и композитные элементы статора и ротора.

Бездатчиковые методы, основанные на математических наблюдателях состояния, сильно зависят от точности математической модели двигателя, заложенной в микроконтроллер. На практике реальные параметры БДПТ всегда имеют отклонения от паспортных данных. Целью данной работы является исследование влияния этих отклонений на точность оценки скорости ротора при использовании различных алгоритмов наблюдения.

В среде динамического моделирования SimInTech разработана математическая модель привода. Рассмотрены два алгоритма вычисления противо-ЭДС: наблюдатель полного порядка Люенбергера и наблюдатель скользящих режимов (НСР). Для исключения потенциала нейтральной точки модель построена в междуфазных параметрах.

Палашков И.И., Иванов К.А.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВАРИАТИВНОГО ШИФРОВАНИЯ

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

Актуальность работы обусловлена ограничениями классических криптографических методов, опирающихся на детерминированные математические преобразования, которые не обеспечивают встроенного сжатия данных и уязвимы к статистическому и трафик-анализу в условиях роста вычислительных мощностей. В современных условиях требуется разработка адаптивных алгоритмов. Предлагаемый новый алгоритм может применяться в защищенных каналах связи для скрытой передачи данных с маскировкой трафика, в спутниковых каналах с ограниченной полосой пропускания, в VPN-решениях нового поколения с адаптивным сжатием трафика, в корпоративных защищенных сетях филиалов и удаленных офисов, в системах защищенной голосовой связи и мессенджерах для снижения нагрузки на канал.

Целью данной работы является разработка и программная реализация алгоритма вариативного шифрования. Это новый подход к кодированию информации, основанный на разделении сообщения на три независимые сущности и использовании управляемой стохастичности для обеспечения криптостойкости и сжатия данных.

В процессе работы проводился синтез алгоритмической базы шифра, включая проектирование стохастического ядра, механизма маскирования идентификаторов и системы распределённого хранения ключей; разрабатывалась модульная архитектура программного комплекса на языке Python; осуществлялось тестирование функциональности и сравнительная оценка эффективности метода.

В процессе работы алгоритм был полностью реализован в виде программного комплекса с графическим интерфейсом на базе Tkinter, включающего модули шифрования, дешифрования и управления ключами. Созданный комплекс наглядно показал, что применение стохастической парадигмы позволяет одновременно решать задачи сжатия и защиты данных: достигнуто сокращение объёма шифротекста до 1 бита на символ (выигрыш до 88% относительно кодирования Хаффмана), обеспечена устойчивость к трафик-анализу за счёт генерации уникальных шифротекстов при каждом сеансе, а также реализована поддержка механизмов отрицаемого шифрования.

Плюсков Е.И., Симонов А.С., Иванов К.А.

СИСТЕМА ИММЕРСИОННОГО ОБУЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОМУ КОНТРОЛЮ В VR-ПРОСТРАНСТВЕ ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический 65.,
e-mail: egorplus98@gmail.com*

Разработана иммерсивная система обучения радиационному контролю на базе VR-тренажера для повышения эффективности дополнительного профессионального образования работников, взаимодействующих с источниками ионизирующего излучения. Методология предполагает использование демо-сцены, включающей три зоны допуска персонала, соответствующие трем классам помещений для работы с ионизирующим излучением, с детализированным воспроизведением требований радиационной безопасности.

Алгоритм взаимодействия реализован на платформе VR с применением мультиплеерного режима (до 7 игроков на сцену по локальной сети с выбором роли преподавателя или студента). Разработана трехуровневая схема визуализации СИЗ через 11 статичных манекенов в зависимости от зоны и типа ИИИ. В Зоне 3 (1 манекен) — базовая спецодежда. В Зоне 2 (5 манекенов) — подбор СИЗ под виды излучения: гамма-излучения, бета-излучения, альфа-активной пыли, радона и кислот. В Зоне 1 (5 манекенов) — максимальная защита: для мощного гамма-излучения, бета-излучения, альфа-загрязнения, газообразных радиоактивных веществ, комбинированного загрязнения.

Демо-сцена сейчас находится в стадии разработки и тестирования. Проработанная логика трёх зон, подбор СИЗ под разные типы излучения и масштабируемая архитектура позволяют в дальнейшем использовать подход для обучения персонала в других отраслях с высокими требованиями радиационной безопасности.

Подосинников В.В., Борисов Д.А., Федянин А.Л., Мельникова Н.А.

О РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ЦВЕТОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ БИБЛИОТЕКИ OPENCV

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

В настоящее время бурно развивается такое направление машинного обучения, как компьютерное зрение, одной из важнейших задач которого является задача цветовой сегментации изображений.

В данной работе описывается реализация алгоритма, созданного для сегментации изображений, полученных в разных условиях освещенности, с целью определить, какое количество пикселей объектов красного, желтого и зеленого цветов возможно корректно распознать при применении различных цветовых моделей.

Алгоритм реализован на языке Python с использованием библиотеки OpenCV. Ключевыми компонентами алгоритма являются: функция формирования маски, функция оценки точности, а также блок визуализации результатов. Формирование маски обеспечивали функции OpenCV: `cv2.cvtColor` (декомпозиция исходного изображения в пространства RGB, HSV и CIELAB (LAB)); `cv2.inRange` (выделение пикселей в заданных цветовых диапазонах); `cv2.bitwise_or` (объединение сегментированных областей (актуально для красного цвета в HSV, имеющего разрыв на шкале Hue)); `cv2.countNonZero` (мгновенное вычисление площади (количество ненулевых пикселей) выделенного объекта).

С помощью разработанного алгоритма были получены экспериментальные данные для моделей RGB, HSV и CIELAB. Алгоритм зафиксировал зависимость площади распознаваемых объектов от условий освещенности. Полученные данные позволили количественно оценить, как архитектурные особенности каждой модели (например, изоляция канала яркости) влияют на стабильность сегментации, что может быть использовано для проектирования надежных систем технического зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Содем Я.Э. Программирование компьютерного зрения на языке Python. / пер. с англ. Слинкин А.А. – Москва: ДМК Пресс, 2016. – 312 с.

Симонов А.С., Плюсков Е.И., Иванов К.А.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖУ

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, 636036,
г.Северск, Томской обл., пр. Коммунистический 65.,
e-mail: Oneton22@yandex.ru*

Актуальность работы обусловлена высокими материальными затратами, рисками травматизма и ограниченностью практического оборудования при традиционном обучении электромонтажным работам, а также необходимостью повышения наглядности и безопасности учебного процесса.

Целью данной работы является разработка иммерсивного VR-тренажера для обучения электромонтажу и количественная оценка его эффективности по сравнению с классическими методами подготовки.

В процессе работы проводилось проектирование виртуальной среды, имитирующей реальные условия монтажа электроустановок, включая отработку навыков прокладки кабелей, коммутации распределительных щитов и соблюдения правил техники безопасности. Разработана виртуальная лаборатория с поддержкой мультимедиа, предназначенная для проведения занятий по электромонтажу. Созданы примерные трёхмерные модели оборудования (щит, монтажные рейки, элементы автоматики, инструменты для установки.), которое будет монтироваться в распределительный шкаф.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виртуальный тренажер «Электромонтаж» ВЛС-Э [Электронный ресурс]. – Labstand. – URL: <https://labstand.ru/catalog/elektromontazh/virtualnyj-trenazher-elektromontazh-vls-e-2>
2. VR-тренажер по обслуживанию электроустановки [Электронный ресурс] / Varwin. – URL: <https://varwin.com/ru/vr-development/projects/vr-obslyzhivaniye-elektroustanovki/>
3. Виртуальная реальность для обучения сборке электрооборудования: инновационный тренинг от Siemens [Электронный ресурс] / likevr.ru. – URL: <https://likevr.ru/vr/primery/primeneniye/virtualnaya-realnost-dlya-obucheniya-sborke-elektrooborudovaniya/>

Симонов Е.С., Иванов М.Л.

ДВУНАПРАВЛЕННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

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

В системах автоматического регулирования шумы измерений представляют одну из ключевых проблем, существенно влияющих на качество управления. Датчики обратной связи неизбежно вносят высокочастотные помехи в измеряемый сигнал. Попадая в регулятор, эти помехи усиливаются пропорционально частоте, что приводит к хаотическим скачкам управляющего воздействия, износу исполнительных механизмов и в предельных случаях – к потере устойчивости замкнутого контура. Кроме того, шум ухудшает точность вычисления ошибки регулирования, что снижает качество отработки задающего воздействия. На производстве обычно применяется однонаправленная фильтрация – как правило, фильтр нижних частот первого или второго порядка в цепи обратной связи. Такой фильтр обрабатывает сигнал строго в одном направлении времени: каждый выходной отсчёт зависит только от текущего и предыдущих входных значений. Фильтр эффективно подавляет шум, однако вносит фазовый сдвиг, величина которого зависит от частоты сигнала. В замкнутом контуре это запаздывание уменьшает запас устойчивости по фазе, замедляет переходный процесс и может увеличивать перерегулирование. Двухнаправленная фильтрация обрабатывает сигнал последовательно в прямом и обратном направлениях времени, что позволяет взаимно компенсировать фазовые сдвиги обоих проходов. Результирующий фазовый сдвиг в полосе пропускания стремится к нулю, а крутизна спада амплитудно-частотной характеристики удваивается по сравнению с однонаправленным фильтром того же порядка. По сравнению с однонаправленной фильтрацией, двухнаправленный подход обеспечивает существенно меньший остаточный фазовый сдвиг в рабочей полосе частот, более быстрый и менее колебательный переходный процесс при одинаковом уровне подавления шума. Основным ограничением является неизбежное детерминированное запаздывание, которое при значительных размерах буфера или высокой частоте среза само по себе снижает запас устойчивости, поэтому выбор параметров фильтра должен учитывать динамику конкретного объекта управления.

Смирнова Т.Л., Боков Г.А.

ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В РЕГИОНЕ

*Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru*

Цифровые инструменты стратегии развития строительного комплекса Томской области формируют систему интегрированных технологий моделирования социально-экономических процессов, которые повышают прозрачность и эффективность инвестиций в регионе. Государственная информационная система обеспечения градостроительной деятельности (ГИСОГД) классифицирует сведения о строительных объектах и раскрывает ресурсный потенциал региона, что позволяет оптимизировать управленческие решения на основе актуальных цифровых данных, минимизировать бюджетные расходы и сформировать пространственный цифровой двойник региона [1, 2].

Интегрированная автоматизированная информационная система координирует совместные действия заказчика и застройщика через логистику, системы финансового и управленческого контроля (ИСУП). Единый сервис для хранения информации об объектах строительства используется в контроле операционной деятельности, реализации инвестиционных программ компаний, оценке качества проектирования и строительства объектов, а также в мониторинге этапов и сроков государственного инфраструктурного контракта.

Единая цифровая платформа государственной экспертизы (ЕЦП ГЭ) организует электронный документооборот, проверку качества проектной документации и хранение экспертных заключений строительных компаний. В Томской области до 2030 года направления цифровой стратегии в области строительства включают: автоматизацию процедуры государственной экспертизы, управление цифровым жизненным циклом строительных объектов, развитие федеральных цифровых платформ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова Т.Л. Опыт развития кластерной политики ГК «Росатом» // Стратегическое и проектное управление: сб. статей / под ред. В.Г. Прудский. – Т. VIII. – Пермь: ПГНИУ, 2016. – С. 261-265.
2. Смирнова Т.Л. Системные риски и безопасность региона в условиях развития цифровой экономики // Молодёжная наука в развитии регионов. – Т1. – Пермь: ПНИПУ, 2019. – С.385-387.

Смирнова Т.Л., Волкомирская И.А.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ БИЗНЕС-ПЛАНА

*Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru*

Включение аспектов экологической устойчивости в бизнес-план (цифровизации и экологической ответственности) повышает конкурентоспособность организации на рынке, требует соблюдения законодательных норм охраны окружающей среды. Внедрение принципов «зелёной экономики» направлено на минимизацию антропогенного негативного воздействия на всех этапах реализации бизнес-плана организации, использование интегрированных цифровых инструментов моделирования (BIM-технологий).

Наиболее значимыми для организации являются аспекты экологического мониторинга: потребление невозобновляемых природных ресурсов, значительный расход воды и электроэнергии; образование промышленных отходов; загрязнение атмосферного воздуха (выбросы пыли, выхлопных газов от работы техники); шумовое и вибрационное воздействие (создание дискомфорта для жителей прилегающих территорий); нарушение ландшафта и воздействие на почвенный покров. Для эффективности управления экологическими и экономическими рисками [1] организация может создать бизнес-план, по принципу 3R (Reduce, Reuse, Recycle). Reduce включает сокращение и нормирование ресурсов, минимизируя излишки и обрезки. Reuse предполагает повторное использование грунта для благоустройства территории. Recycle учитывает принципы отдельного сбора и переработки металлического лома, промышленных отходов, не менее 60% от общего объема отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова Т.Л. Инфляционные процессы в муниципалитете // Наука. Образование. культура: актуальные проблемы и практика решения: материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции, Прокопьевск, 22 ноября 2024г. – Прокопьевск: КузГТУ, 2024. – С.231-235.

Смирнова Т.Л., Дружинина О.Н.

ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ ВИДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ «ТДСК»

*Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru*

Цифровой мониторинг видов экологического загрязнения позволяет прогнозировать антропогенную нагрузку на окружающую среду на основе элементов системы сбора, обработки информации, анализа и визуализации данных в системе оперативного принятия решений. Корпоративная система экологического мониторинга может разрабатываться с применением технологии интернета вещей, геоинформационных систем (ГИС), интеллектуальных цифровых платформ с искусственным интеллектом. Ключевыми компонентами цифрового модуля являются датчики и измерительное оборудование (контроль параметров воздуха, воды, почвы, физических факторов), система передачи данных в защищённом режиме, серверы управления данными (систематизация, хранение, передача государственным надзорным органам), отчётность для ответственных лиц.

Цифровые платформы экологического мониторинга помогают сравнить собираемые данные, оценить достижение нормы предельно допустимой концентрации выбросов парниковых газов, моделировать рассеивание загрязняющих веществ и углеродного следа в результате комплексного анализа антропогенной деятельности предприятия. Цели цифрового экологического мониторинга предприятия включают: обеспечение безопасности территории и создание комфортной городской среды, управление экологическими рисками, выполнение требований экологического законодательства, прогнозирование последствий загрязнения окружающей среды и налоговых платежей, формирование нефинансовой отчётности на основе принципов устойчивого развития ESG (экология, социальная ответственность, корпоративное управление) [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова Т.Л. Роль нефинансовой отчётности в достижении принципов устойчивого развития в регионе // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития: Материалы XII Международной научно-практической онлайн-конференции, Братск-Томск-Иркутск, 28–30 апреля 2025г. – Братск: БрГУ, 2025. – С.421-437.

Смирнова Т.Л., Дюкарев Г.А.

СТРАТЕГИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ГК «РОСАТОМ»

*Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru*

Автоматизация и цифровизация процессов предприятий ГК «Росатом» реализуются в следующих направлениях: информационные технологии в производственных и поддерживающих процессах (бесперебойное функционирование и поддержка IT-инфраструктуры, центры компетенций и разработки программного обеспечения), цифровые технологии поддержки принятия управленческих решений (цифровая трансформация и применение цифровых технологий в зарубежных странах), комплексное предложение продуктов на основе искусственного интеллекта (проектирование микроэлектроники, разработка стандартов безопасности промышленных продуктов).

Предприятия ГК «Росатом» участвуют в международной кооперации и экспорте на рынке информационных технологий, выполняют стратегические задачи по созданию цифровой платформы Северного морского пути и повышению надёжности промышленного программного обеспечения, ведут разработки систем промышленного моделирования в области «Умный город» и промышленно-строительной инфраструктуры, создают исследовательские проекты с технологической независимостью. Проводимые этапы цифровой трансформации предприятий повышают качество информационных сервисов, расширяют возможности использования экосистемных продуктов, ускоряют интеграцию платформенных сервисов за счёт упрощения обработки информации и привлечения новых клиентов, а также стимулируют материальные и финансовые потоки. Для достижения поставленных стратегических задач используются внутренние компетенции персонала [1], инженерные решения в области робототехники, строительства и масштабирования бизнеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова Т.Л. Роль информационных технологий в формировании инновационной активности специалистов // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сб. научных трудов III Межд. науч. конф.: в 2 частях, Томск, 23–26 мая 2016г./ Под ред. О.Г. Берестневой, О.М. Гергет, Т.А. Гладковой. – Том 1. – Томск: НИ ТПУ, 2016. – С.71-73.

Смирнова Т.Л., Сидоренко А.В.

ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛИТЕТА

*Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru*

Использование цифровых инструментов моделирования пространственного развития муниципальных образований в России регламентируется законодательной базой: Градостроительным кодексом, постановлениями Правительства, приказами Минстроя и Минэкономразвития. Национальная система пространственных данных как интегрированная цифровая платформа, созданная Росреестром, объединяет отдельные данные из разных систем, служит основой для проектирования комплексных решений на основе сочетания разных информационных инструментов моделирования, позволяет повышать точность и обоснованность инженерных решений.

Цифровые инструменты моделирования пространственного развития муниципалитета включают геоинформационные системы, технологию информационного моделирования (BIM), цифровые двойники, платформы на основе искусственного интеллекта. Цифровые инструменты позволяют анализировать альтернативные сценарии социально-экономического развития территории, визуализировать решения градостроительной политики, выполнять сценарное прогнозирование, повышать эффективность системы управления транспортной доступностью прилегающих агломераций.

Цифровые информационные модели управления развитием территории создаются на платформе государственной информационной системы градостроительной деятельности, которая содержит систематизированную текстовую и графическую информацию. Цифровые модели концепции комплексной застройки территории выявляют риски роста плотности населения, предельных социальных нагрузок на инженерную систему, изменения градостроительных норм, надёжности и безопасности промышленной инфраструктуры, направлений землепользования, пространственного зонирования, ландшафтного дизайна, развития туристических центров.

Смирнова Т.Л., Скворцов К.Н.

АУДИТ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru*

Участие предприятия в проекте цифровой трансформации обеспечивает повышение темпов производительности труда за счёт согласования структуры потоков материальных и информационных ресурсов. Аудит бизнес-процессов необходим в оценке уровней управления предприятием, определении критических операционных процессов, прогнозировании факторов рисков и поиска их владельцев. Цели аудита бизнес-процессов предприятия заключаются в анализе технологического суверенитета, оценке целеполагания и выборе стратегии цифровизации.

Внутренний аудит бизнес-процессов предприятия позволяет повысить координацию структурных подразделений через создание целевых бизнес-схем, выявление дублирующих функций и процессов. Анализ точек замедления обработки данных, определение объёма ручных рутинных операций на стыке процессов позволяет автоматизировать узкие места и снизить риски. Предотвращение избыточности согласования документов, повышение ответственности, выстраивание единой логики формирования добавленной стоимости, проектирование целевой модели и подбор инструментов цифровизации определяет эффективность включения персонала [1, 2]. Основными направлениями аудита бизнес-процессов предприятия являются входные данные, облачная аналитика, функционал сотрудников, инфраструктура, безопасность информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диаките А., Смирнова Т.Л. Формирование бизнес-идеи и инвестиционной привлекательности организации // Избранные доклады 71-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых: Доклады конференции, Томск, 17 апреля 2025г. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2025. – С.958-962.
2. Конне М.С., Смирнова Т.Л. Создание концепции развития инвестиционной консалтинговой организации // Избранные доклады 71-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых: Доклады конференции, Томск, 17 апреля 2025г. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2025. – С.963-967.

Смирнова Т.Л., Харламова И.А.

РИСКИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

*Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru*

Предприятия госкорпорации «Росатом» реализуют единую цифровую стратегию (ЕЦС) до 2027 года, с применением технологий AI в проектировании, строительстве и управлении АЭС. Риски цифровизации в ядерной энергетике связаны с недостаточным объёмом финансирования государственных образовательных программ («ТОП-ИТ», «ТОП-ИИ»), ограничением корпоративных инвестиций в подготовку специалистов в области цифровых технологий, в результате ускоряющихся темпов роста высокотехнологичного сектора в национальной экономике [1]. Дефицит молодых квалифицированных специалистов, с цифровыми компетенциями в ядерной энергетике, вызван сокращением численности трудоспособного населения и ухудшением качественных показателей демографических процессов в стране. Происходят структурно-технологические сдвиги в ядерной энергетике из-за жёстких регламентов защиты информации, развития гибких форм занятости IT-специалистов, с удалённым рабочим местом и корпоративными мобильными устройства управления. Кроме того, риски цифровизации предприятий в ядерной энергетике возникают в результате нарушения международных и национальных стандартов промышленной безопасности: EN IEC 62645:2020, СТО 95 12001-2024, ГОСТ Р МЭК 62671-2024.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова Т.Л. Влияние государственной поддержки на развитие института отраслевого рынка рабочей силы в ядерном ТЭК России // Инновационные технологии в формировании молодёжного потенциала современного общества: материалы Всероссийской научно-практической конференции в 2 частях, Уфа, 21–22 октября 2010г. / Институт социально-экономических исследований, Уфимский научный центр РАН; редколлегия: Д.А. Гайнанов. Часть 2. – Уфа: Уфимский научный центр РАН, 2010. – С.116-119.

Смирнова Т.Л., Михеев Г.К.

ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРЕДПРИЯТИЯ

Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru

Углеродный след - это совокупность выбросов (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆), которые возникают в результате антропогенной деятельности и пересчитаны в эквивалент CO₂. При оценке углеродного следа используют прямые (первичные) и косвенные (вторичные) выбросы предприятий в рамках управления жизненным циклом продукции; учитываются стандарты ISO, Киотский протокол и Парижское соглашение. В России оценка углеродного следа предприятий проводится при достижении целей устойчивого развития (ESG-принципов) с использованием национальной методологии: ГОСТ Р ИСО 14067-2021, ФЗ № 296 от 02.07.21 «Об ограничении выбросов парниковых газов».

Цифровые инструменты моделирования углеродного следа предприятия (продуктового и корпоративного) позволяют оценивать предельно допустимые уровни выбросов парниковых газов, анализировать ключевые источники загрязнения, оптимизировать производственные процессы и формировать отчётные декларации [1]. Цифровые инструменты, использующие базы данных с автоматическим заполнением на платформе 1С, включая интеграцию с бизнес-процессами, машинное обучение и имитационное моделирование, повышают точность прогнозов экологических рисков.

К продуктовым цифровым инструментам моделирования углеродного следа предъявляются требования по сбору данных о ресурсах, источниках электроэнергии и процессах, которые используются при расчётах на IT-платформах: Eco4Cast, Eco2AI, Green Zoom, Data Zoom. Для корпоративных цифровых инструментов моделирования углеродного следа может использоваться PERIX.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова Т.Л. Эколого-экономические риски реконструкции предприятия АО «Русатом Инфраструктурные решения» в Северске // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий / под ред. М.Д. Носкова. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2021. – С.115.

Смирнова Т.Л., Суховейко С.С.

ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕРЕЖЛИВЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru*

Цифровые инструменты в системе управления бережливым производством предприятия дополняют и усиливают классические методы, повышая их эффективность за счёт автоматизации, анализа данных и прозрачности процессов. Они позволяют прогнозировать производственные потоки, выявлять скрытые потери времени и ресурсов, улучшать качество проводимых работ. Цифровые карты потока создания ценности базируются на программных продуктах, которые включают библиотеки стандартных символов и ускоряют автоматический расчёт показателей: времени производственного цикла, создания ценности продукта и коэффициента добавленной ценности. Динамические модели сценариев оптимизации производственных процессов дифференцируют потоки, выстраивают циклы, координируют ресурсы, мощность оборудования и персонал.

Цифровые платформы с IT-решениями быстрой переналадки оборудования, включают интерактивные инструкции для работников, используемые на мобильных устройствах. Системы хронометража переналадок оборудования, имеющие автоматическую фиксацию времени этапов и анализ отклонений от стандарта, формируют возможности более гибкого планирования операционного цикла на предприятии. Планировщики переналадок корректируют последовательность операций рабочих, участвуют в мониторинге эргономических характеристик и безопасности рабочих мест [1, 2]. Цифровые решения для всеобщего обслуживания оборудования предупреждают технологические риски ремонтных работ и нарушения сроков выполнения контрактов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова Т.Л. Эволюция приоритетов бюджетного финансирования как инструмент инновационно-технологического развития регионов России // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2019. – №.3(41). – С.31-38.
2. Смирнова Т. Л. Эволюция теории социально-экономических отношений между работником и работодателем // Журнал экономической теории. – 2016. – №. 2. – С.157-169.

Смирнова Т.Л.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

*Томский государственный архитектурно-строительный
университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
e-mail: ctl2023@mail.ru*

Направления адаптации студентов в инженерно-техническом вузе включают такие, как академическая, социокультурная, коммуникативная и социально-психологическая, которые определяют эффективность профессиональной подготовки специалистов на основе цифровой образовательной среды, учитывают индивидуальные особенности обучающихся [2]. Оценка уровня адаптации студентов анализируется по критериям: академической успеваемости, активности на практических занятиях, участию в научной и проектно-исследовательской деятельности. Основная стратегическая задача развития качества образовательной среды в вузе представляет собой оценку профессиональной подготовки специалистов, для высокотехнологичных секторов экономики, через развитие инженерного мышления, цифровой углублённой адаптации студентов, повышение эмоциональной включенности в образовательный процесс, групповую социализацию и проектное академическое наставничество.

Цифровые технологии в адаптации студентов позволяют индивидуализировать обучение, наглядно представить сложный материал, детализировать понимание (презентации, интерактивные лекции, BIM-технологии моделирования) [1]. Использование электронных методических материалов в обучении помогает лучше воспринимать содержание учебной дисциплины, планировать этапы и организовать контроль самостоятельной работы студентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дюкарев Г.А., Смирнова Т.Л. Использование системного подхода и моделирования в управлении строительной организацией // Сборник докладов международной научно-технической конференции молодых учёных БГТУ, Белгород, 29–30 мая 2025г. – Белгород: БГТУ, 2025. – С. 166-169.
2. Янголенко Н.В., Смирнова Т.Л. Роль этического института в профессиональных коммуникациях и социально-экономических отношениях бизнеса // Коммуникации в информационном обществе: проблемы и возможности: сборник научных статей, Чебоксары, 16 января 2017г. – Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет, 2017. – С. 264-266.

Bondarev A.E., Loginova E.S., Kineva T.A.

THE STABILITY OF REGIONAL ENERGY SYSTEMS INFLUENCED BY NUCLEAR POWER PLANT OPERATION

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPHI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: bondarevandrej413@gmail.com*

Currently, the instability of regional power systems is one of the pressing issues in the nuclear power industry. Nuclear power plants (NPPs) are system-forming elements of regional energy systems. However, the specific features of the operation, such as inertia, limited power regulation range, and stringent nuclear safety requirements, have a significant impact on the static and dynamic stability of the energy system.

The aim of the work is to analyze the influence of nuclear power plants on the stability of the regional energy system in regular and emergency modes, as well as to evaluate measures to improve the power supply reliability.

The study examines the role of nuclear power plants in the balance of active and reactive power in the region and the specifics of frequency and voltage maintenance during the operation of the nuclear power plant. The behavior of nuclear power plants under unexpected load changes and during emergency shutdowns in the energy system is analyzed. Technical measures for improving stability are presented: automatic excitation control, emergency power supply redundancy for auxiliary needs, dispatching control, and emergency protection automation.

The conducted analysis enables to conclude that the stability of a regional energy system influenced by NPPs has some features. On the one hand, nuclear power plants provide a stable base electricity supply. On the other hand, its limited regulative capabilities require a special approach to integrating a plant into the power system. Developing a transient model of the regional power system and formulating recommendations for the system operator will be involved in further work.

Glushkov I.E.

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR THE DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC 51 FREQUENCY CONVERTER FOR PROCESS AUTOMATION

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPhI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: ilia_gl05@outlook.com*

Direct-on-line starting of asynchronous electric motors has significant drawbacks: high inrush currents, adverse dynamic impact on the mechanical components of equipment, and a lack of control flexibility. In small-scale production environments, the use of such methods becomes impractical. In this context, employing a variable frequency drive (VFD) is not optional but mandatory. This study examines the Danfoss FC 51 series VFD.

The primary objective is its integration into a distributed automated process control system (APCS) via a programmable logic controller (PLC). The system architecture is based on a PLC acting as the master device (Modbus Master). The physical communication layer is implemented via an RS-485 interface using the Modbus RTU protocol. During normal operation, the controller cyclically polls the slave device (FC 51), acquiring the following data: rotational speed, current, voltage, and drive status code. In return, the frequency setpoint and the "Start" and "Stop" commands are transmitted. The discrete inputs of the FC 51 VFD are utilized to implement a hardware stop and an "Alarm Reset" signal. This configuration provides backup control in the event of a loss of communication over the RS-485 interface, ensuring correct system operation in the absence of a digital command.

The critical error handling algorithm deserves special attention. The PLC logic in the event of a mains power loss is implemented as follows: the drive enters a standby mode waiting for voltage restoration within a specified time interval. When the power supply is restored, a start command is automatically generated, restoring the previous frequency setpoint.

Sukhov A.V., Loginova E.S., Kineva T.A.

DEVELOPMENT OF ELECTRICITY METERING SYSTEM FOR NUCLEAR POWER INDUSTRY

*Seversk Technological Institute of NRNU MEPHI,
65, Kommunisticheskiy Prospekt, Seversk, Tomsk Region, 636036,
e-mail: andreysxov958@gmail.com*

Electricity metering systems in the energy industrial complex are an issue of current importance which is driven by the need to optimize resource consumption, reduce operational costs, and ensure reliable energy supply amidst growing demands for energy efficiency and environmental safety. The primary objective of this research is to develop an electricity metering system using the electric meter «Mercury», aimed at enhancing energy efficiency and the cost-effectiveness of electricity consumption.

The study analyzed electricity metering systems, including their purpose and diverse types, with a focus on commercial electricity metering. The advantages and disadvantages of automated commercial electricity metering systems were also examined. The operating principles of various electricity meter models, their design, and classification were studied. The study also involved familiarization with equipment from the «Mercury» company. Following the analysis, electric meter «Mercury 230» and converter-adaptor «Mercury 221» were chosen to establish communication between the electric meter and the computer.

An electricity consumption monitoring system was developed using the SCADA TRACE MODE software package, the universal OPC server, the electric meter «Mercury 230», and the converter-adaptor «Mercury 221». This innovative approach allows displaying information about the main parameters of the power grid from the electric meter «Mercury 230» on the control panel of the SCADA TRACE MODE monitoring system in real time. This control ensures highly accurate and efficient electricity metering, while also reducing commercial electricity metering costs.

The study resulted in the development of an effective electricity metering system using the electric meter «Mercury». The results obtained have practical implications for improving energy efficiency and cost effectiveness in various industries. The developed electricity metering system, based on the Mercury electricity meter, can be successfully used to optimize energy consumption and improve energy efficiency, representing an important step toward sustainable development.

*Секция
Математическое моделирование, информационные
системы и цифровизация процессов и объектов
атомной отрасли*

Березин А.А., Гуцул М.В., Истомин А.Д., Носков М.Д., Чеглоков А.А.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

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

Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания связана с большим количеством производственных объектов, технологических и экономических показателей, а также с необходимостью ежедневного контроля выполнения планов. Поэтому актуальной задачей является создание автоматизированной системы, обеспечивающей оперативное получение, сопоставление и анализ производственной информации.

Разработанная система предназначена для производственного планирования и контроля работы геотехнологического предприятия. В ее состав входят модули «Ввод и импорт данных», «Представление данных», «Анализ данных» и «Управление проблемами». Исходными данными являются плановые и фактические значения показателей работы добычного и перерабатывающего комплексов, запасов химических реагентов, финансово-экономических показателей, расхода электроэнергии и др. Информационная система объединяет клиентские программы для ввода, представления и анализа данных, веб-компонент информационных панелей и сервер баз данных PostgreSQL. Информационные панели реализованы с использованием платформы Apache Superset; программы для ввода, представления и анализа данных разработаны на языке C++.

Информационная система позволяет выявлять отклонения плановых и фактических показателей и автоматически формировать уведомление для ответственного персонала. Встроенный в систему интеллектуальный помощник анализирует причины отклонений по основным показателям добычи (темпы добычи урана, концентрация урана, объём продуктивных растворов) и формирует рекомендации по проведению корректирующих мероприятий.

Применение информационной системы способствует повышению качества управленческих решений за счет оперативного доступа к актуальной производственной информации, своевременного выявления отклонений контролируемых показателей и определения возможных причин их возникновения.

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

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТА РВР НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

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

Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания осуществляется с помощью систем технологических скважин, работоспособность которых зависит от своевременного и обоснованного проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР). При планировании РВР необходимо прогнозировать ожидаемый результат обработки с учетом множества различных данных (эффект предыдущего РВР, последний замер дебита на скважине, средний эффект выбранного типа РВР по месторождению, порядковый номер РВР на скважине, время работы скважины и др.). Для прогнозирования эффекта РВР целесообразно использовать технологии искусственного интеллекта.

В работе представлено специализированное программное обеспечение, предназначенное для прогнозирования результата различных видов РВР (прокачка компрессором высокого давления, пневмоимпульсная обработка, промывка и др.). Для каждого вида РВР обучены модели глубоких нейронных сетей (DNN) с регуляризацией, определяющие ожидаемый дебит/приемистость после проведения работ по параметрам состояния и истории скважины. Модели были обучены на фактических данных о проведении порядка тридцати тысяч РВР.

Программное обеспечение разработано на языке программирования Python, с использованием библиотек NumPy и Pandas. Обучение нейросетевых моделей выполнено с применением пакетов TensorFlow/Keras, для обработки данных использовался пакет Scikit-learn. Разработанное программное обеспечение автоматически загружает исходные данные из базы технологических данных (БТД), обученные нейросетевые модели и конвейеры обработки первичных данных, после чего рассчитывает ожидаемый эффект от различных видов РВР для всех технологических скважин предприятия. Полученные результаты сохраняются в таблице БТД. Пользователь может использовать результаты прогнозирования в программе планирования РВР при выборе вида обработки и определении приоритетности работ.

Захаров Р.А., Носков М.Д.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

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

Современная горнодобывающая отрасль переживает период технологической трансформации, обусловленной переходом к концепции «Майнинг 4.0». Важным элементом концепции «Майнинг 4.0» является применение технологий искусственного интеллекта (ИИ). В настоящее время практическое применение ИИ выходит за рамки экспериментов и приводит к конкретным экономическим и операционным результатам. В докладе рассмотрены основные направления внедрения ИИ в горнодобывающей промышленности:

1. Геологическая разведка, моделирование месторождений и оценка запасов (ИИ анализирует геологические данные, строит геолого-математические модели, выявляет перспективные участки и др.);

2. Оптимизация работ по добыче полезных ископаемых и управление горным оборудованием (ИИ применяется для управления парком техники, оптимизации маршрутов, планирования буровзрывных работ и др.);

3. Обогащение и переработка руды (технологии компьютерного зрения и машинного обучения позволяют стабилизировать процессы разделения, флотации и измельчения);

4. Повышение промышленной и экологической безопасности (компьютерное зрение активно применяется для мониторинга использования средств индивидуальной защиты, обнаружения признаков усталости у персонала и др.).

В настоящее время наиболее перспективным способом применения ИИ является создание человеко-центрированной системы «Эксперт+ИИ», где искусственный интеллект выступает инструментом поддержки принятия решений и автоматизации рутинных операций, оставляя за специалистом функции контроля, стратегического управления и принятия решения.

Основными проблемами, связанными с внедрением искусственного интеллекта являются высокая стоимость внедрения, нехватка качественных и размеченных данных для обучения моделей ИИ, дефицит квалифицированных кадров, а также технологические ограничения.

Курмель Г.В., Носков М.Д.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ

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

Технология добычи урана способом подземного скважинного и кучного выщелачивания применяет сорбционные колонны для извлечения урана из продуктивных растворов. Эффективность сорбционного извлечения зависит от свойств сорбента, режимов потока, состава раствора и методов регенерации. Для оптимизации режимов эксплуатации сорбционных колонн при извлечении урана из продуктивных растворов целесообразно использовать методы математического моделирования.

В работе представлен анализ методов математического моделирования для описания процессов сорбционного извлечения урана из сернокислотных растворов. Математические модели учитывают перенос вещества в колонне с учётом конвекции и диффузии; равновесные и кинетические параметры сорбции/десорбции; влияние химического состава растворов (кислотность, ионную силу, концентрации ионов железа, хлора, сульфат-ионов и других примесей); характеристики сорбента (химический состав, пористость, размер зёрен и др.), режимы работы колонны.

Для прикладных и инженерных расчётов, как правило, применяются наиболее простые модели, поскольку они требуют меньшего объёма исходных данных и легче идентифицируются по эксперименту. Вместе с тем описание как равновесных, так и кинетических параметров сорбции обеспечивает наибольшую прогностическую ценность, особенно при переходе от лабораторных экспериментов к промышленным сорбционным установкам. Обязательным условием успешного применения математических моделей является идентификация параметров моделей в условиях, максимально приближённых реальным сорбционным установкам и составу продуктивных растворов.

На основе математических моделей разрабатывается специализированное программное обеспечение, предназначенное для моделирования работы сорбционных колонн и оптимизации технологических режимов. Внедрение программного обеспечения позволяет повысить производительность сорбционных установок и снизить риски недоизвлечения урана.

Мамонтов А.А., Иванов М.Л.

ОБЩИЙ 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 объектов таких как: атомного ледокола «ЛК-60Я» (РИТМ-200), АЭС ОДЭК «Северск» (БРЕСТ-ОД-300АЭС «Касивадзаки-Карива» (BWR/ABWR), модульного РИТМ-200М, АЭС «Ленинградская-II» (ВВЭР-1200) и реактора Natrium (TerraPower). По итогам рецензирования доклада внесён ряд изменений: исправлена ошибка расчёта ROI для «ЛК-60Я», скорректированы CAPEX, переработан код графиков в Python с исправлением масштабирования и добавлением нормального отображения, а также расширена систематика оценки экономической эффективности – дополнительно к CAPEX (капитальные затраты) и OPEX (операционные расходы) для новых реакторов.

А также для реакторов (РИТМ-200М, ВВЭР-1200, Natrium) проведён первичный анализ: определены CAPEX OPEX, срок службы. Все данные интегрированы в общую таблицу и графики. На основе данных открытых источников рассчитаны капитальные и эксплуатационные затраты, срок окупаемости и уровень риска для всех реакторов. Самые высокие CAPEX – у АЭС «Касивадзаки-Карива», самые низкие – у модульного РИТМ-200М. Наименьший ROI – у «Касивадзаки-Карива». Наименьший уровень риска – у «ЛК-60Я», наибольший – у «Касивадзаки-Карива».

Впервые для данной области исследования применён метод Монте-Карло с 10 000 итерациями для всех реакторов с варьированием CAPEX, OPEX, цены электроэнергии и коэффициента использования установленной мощности на основе треугольных распределений.

Все расчеты и моделирование проводилось на языке программирования Python с использованием библиотеки Matplotlib.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). База данных по энергетическим реакторам – Режим доступа: <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx> (дата обращения: 01.12.2023).

Никитин А.В., Иванов М.Л., Щипков А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ МАШИН НА БАЗЕ ЯЗЫКА PYTHON

*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65,
e-mail: sasha248424@gmail.com*

Асинхронные двигатели (АД) являются ключевым силовым элементом в современной промышленности благодаря своей надежности и высокой производительности. Однако, продолжительная эксплуатация и тяжелые режимы работы неизбежно приводят к появлению скрытых дефектов, выявление которых на ранней стадии имеет критическое значение для предотвращения аварийных остановок и минимизации экономических потерь.

В данной работе исследуется метод спектрального анализа сигнатур тока (MCSA), предназначенный для диагностики состояния двигателя без его выключения из эксплуатации. Метод основан на точном анализе частотного спектра тока статора. Появление неисправностей, таких как повреждение стержней ротора, статический или динамический эксцентриситет, а также износ подшипников, приводит к возникновению в спектре характерных гармоник – сигнатур, которые служат индикатором проблем. Степень развития конкретного дефекта напрямую определяет амплитуду этих частотных составляющих.

Алгоритмы анализа реализованы на языке программирования Python. Для достижения высокой скорости и точности обработки сигналов используются специализированные библиотеки, например, NumPy для матричных вычислений и SciPy для быстрого преобразования Фурье (FFT). Благодаря Python, процесс мониторинга можно автоматизировать и интегрировать интеллектуальные алгоритмы обработки данных. Таким образом, сочетание сигнатурного анализа и современных программных инструментов обеспечивает переход к эффективному предиктивному обслуживанию электроприводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
2. Петухов В. С., Соколов В. А. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости ЭлектроТехники. 2005. № 1 (31). С. 50–52.

Спицын В.С., Нечкина А.С.

РАСЧЁТ ПОТЕНЦИАЛОВ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Томский политехнический университет НИ ТПУ,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
e-mail: spvg@tpu.ru, asn47@tpu.ru*

Первопринципные методы являются наиболее точными и вычислительно затратными методами [1]. Возникает необходимость поиска альтернативных методов получения потенциалов с сохранением точности первопринципных методов. К таким методам можно причислить машинное обучение.

Особое внимание необходимо уделить области применения потенциалов межатомного взаимодействия. Для задач моделирования радиационных дефектов необходимы потенциалы в некотором радиусе обрезания. Методы машинного обучения смогут позволить установить оптимальный радиус обрезания по выравниванию профиля потенциала с добавлением кристаллографических плоскостей. Для задач моделирования процессов в наноразмерных структурах необходимы асимметричные потенциалы, радиус обрезания которых сопоставим с размерами самой структуры.

Таким образом, ключевое требование к данным обучающей выборки – точность, так как модель наследует ошибки расчетов, на которых она была обучена.

В работе рассмотрен процесс создания и настройки базовой модели нейронной сети, решающей задачу аппроксимации профилей потенциалов машинного обучения в трёхмерную модель.

Архитектура нейронной сети представляет собой модель полиномиальной регрессии. В модель могут быть добавлены мерности, отвечающие не только за оси координат, но и за моды колебаний [2], а также температуру, давление и другие влияющие на систему характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сатанин А. М. Введение в теорию функционала плотности / А. М. Сатанин. – Текст : электронный // Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2009. – С. 64.
2. Фоминов Я. В. Фононы в кристаллах: конспект лекций / Я. В. Фоминов., 7 октября 2025. – Текст : электронный // Курс лекций. – Москва : МФТИ, 2023. – 54 с.

Чернов Д.А., Иванов М.Л.

ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ОТ ВРЕМЕНИ ОБУЧЕНИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ПРИМЕРЕ YOLOv8

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, 636036,
г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65
e-mail: chernyj63@bk.ru

Нейронные сети YOLOv8 умеют находить и выделять объекты на видео в режиме реального времени. Цель исследования – выяснить, сколько времени потребуется для обучения такой сети и какое аппаратное обеспечение для этого потребуется. В эксперименте использовалась видеозапись исследуемого объекта и на её основе собран датасет для обучения 100 раундов (эпох). Качество проверялось двумя способами: оценивалась точность очерчивания сетью объекта рамкой при мягком и строгом критерии. Дополнительно фиксировались ошибки сети в процессе обучения.

По результатам экспериментов с мягким критерием сеть вышла на максимум уже после 6-го раунда – это за первые 20 минут обучения. По строгому критерию прирост точности был хуже, на каждом следующем раунде эффект уменьшался: первые 10 раундов сопоставимы с последними 60. После 40-го раунда дальнейшее обучение практически перестаёт давать результат. При этом сеть не «заучила» данные наизусть: ошибки на новых примерах снижались так же плавно, как и на обучающих.

При тестировании обучения сети на различном аппаратном обеспечении получились следующие результаты: на видеокарте NVIDIA RTX 3060 один раунд занимал около 1,5 минуты, на обычном процессоре (Core i5) – от 40 до 60 минут, но итоговый результат был одинаковым. Использование видеокарты ускоряет процесс обучения, а не улучшает качество работы сети. Для комфортной работы достаточно видеокарты с 4 ГБ памяти.

С учетом полученных данных оптимальное обучение сети составляет 30–50 раундов – этого хватает для высокой точности, использовать большее число раундов не имеет смысла, пока не добавлены новые обучающие данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jocher G. et al. Ultralytics YOLOv8. – GitHub, 2023. – URL: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
2. Lin T.-Y. et al. Microsoft COCO: Common Objects in Context // ECCV. – 2014.
3. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement. – arXiv:1804.02767, 2018.

Шляхов Ф.С., Иванов М.Л.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ И АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЁТА ПОСЕЩАЕМОСТИ В ИНСТИТУТЕ

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

Системы распознавания лиц на основе нейронных сетей позволяют идентифицировать людей в режиме реального времени по видеопотоку с камеры. Цель исследования – разработать программный комплекс, интегрирующий нейросетевое распознавание лиц для автоматической фиксации посещаемости занятий. В ходе работы обучена модель глубокого обучения. Для оценки качества использовались метрики точности идентификации (precision, recall) при различных порогах уверенности модели.

Экспериментальная проверка системы проводилась в аудиториях института: камера фиксировала входящих студентов, нейросеть идентифицировала каждого и автоматически вносила отметку о присутствии в базу данных расписания. Система корректно обрабатывала частично перекрытые лица и различные условия освещения. В случае если лицо не распознано, система оставляла отметку на ручную проверку преподавателем.

Интеграция с расписанием реализована через API: при каждом успешном распознавании система обращается к базе данных института, определяет текущее занятие для данной группы и проставляет отметку о посещении. Журнал посещаемости формируется автоматически и доступен преподавателям и сотрудникам деканата в режиме реального времени.

Разработанный комплекс позволяет полностью исключить ручной учёт посещаемости: преподаватель не тратит время на перекличку, а данные о присутствии студентов автоматически сохраняются и доступны для анализа. Система масштабируема и может быть развёрнута в нескольких корпусах института при наличии сетевой инфраструктуры и видеокamer.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering // CVPR. – 2015.
2. Deng J. et al. ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition // CVPR. – 2019.

СЕВЕРСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
НИЯУ МИФИ

Научное электронное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЯДЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Всероссийская конференция

18-22 мая 2026 г.

Материалы конференции

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

Компьютерное макетирование и набор текста:
Э.Д. Чехович

