

УДК 621.039.52

**Концепция замкнутого торий-уран-плутониевого топливного цикла  
ядерной энергетики**

***В. Е. Маршалкин***

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Использование  $^{232}\text{Th}$  вместо  $^{238}\text{U}$  в качестве сырьевого изотопа, основного делящегося изотопа  $^{233}\text{U}$  вместо  $^{239}\text{Pu}$ , тяжелой воды вместо легкой воды в качестве теплоносителя и ее разбавления легкой водой во время кампании реактора типа ВВЭР делают возможным самообеспечение топлива активными изотопами, в том числе и после достижения равновесного изотопного состава актиноидов, и обеспечивают замыкание торий-уран-плутониевого топливного цикла. Это позволяет повысить на ~2 порядка топливный ресурс, качественно упростить обращение с радиоактивными отходами, понизить ядерную опасность реактора типа ВВЭР; создать технологический барьер на пути распространения расщепляющихся материалов и ядерных технологий.

*Ключевые слова:* реактор типа ВВЭР;  $^{232}\text{Th}$  и  $^{233}\text{U}$ -изотопы второго поколения; тяжелая вода-теплоноситель и ее разбавление легкой водой; самообеспечение топлива активными изотопами; замкнутый торий-уран-плутониевый топливный цикл; утилизация высокообогащенного урана; трансмутация актиноидов реакцией деления.

УДК 621.039.57

**Создание на базе критического стенда ИКАР-с облучательной установки  
с аттестованным нейтронным полем**

***Г. В. Влох, М. А. Воинов, С. В. Воронцов, Л. Ю. Глухов, И. А. Горшкова,  
И. М. Губайдуллин, А. А. Девяткин, В. А. Деманов, Ю. П. Демин, И. Ю. Дроздов,  
Ю. М. Дроздов, Н. В. Завьялов, А. А. Кайгородов, Е. М. Какалашвили, М. А. Калмыков,  
Н. Е. Колесова, А. А. Кубасов, А. Н. Кузнецников, Ю. М. Лимарь, Е. А. Мамаева,  
В. С. Майорников, И. Н. Мочкаев, А. А. Наумов, М. А. Овчинников, Д. А. Орлов,  
А. А. Пикулев, Г. Н. Пикулина, В. А. Попов, Д. В. Сазанов, А. В. Силаев, В. А. Тарасов,  
Е. Ю. Тарасова, С. В. Фролова, В. М. Цветков, В. А. Юхневич***

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В 2017 г. в состав парка моделирующих установок ИЯРФ введена новая статическая ядерная установка СКС ИКАР-С. Стенд предназначен для проведения испытаний крупногабаритных объектов на стойкость к нейтронному и гамма-излучению, для размещения которых служит облучательная полость с рекордными для ИЯУ России размерами 200×50×50 см. Совместно с ФГУП «ВНИИФТРИ» на СКС ИКАР-С проведена аттестация комплекса моделирующих опорных нейтронных полей (МОП-КЗ).

*Ключевые слова:* критический стенд, секция активной зоны, критмассовые параметры, реактивность, температурный коэффициент реактивности.

УДК 621.039.51

**Коэффициент умножения подкритической размножающей системы  
и ценность нейтронов источника**

*Л. С. Ершова, А. В. Лукин, Д. В. Хмельницкий*  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск Челябинской обл.

На основе уравнения переноса нейтронов выполнен анализ соотношения между измеряемым в критических экспериментах коэффициентом умножения нейтронов размножающей системы и ее реактивностью. Получено простое соотношение для расчетно-экспериментального определения ценности нейтронов источника. Для проверки полученных соотношений выполнены численные расчеты для сферически-симметричных систем, содержащих высокообогащенные уран, плутоний, железо, бериллий и полиэтилен.

*Ключевые слова:* коэффициент умножения, критические эксперименты, ценность нейтронов источника.

УДК 621.039.564.2+681.5.08

**Специализированные системы контроля параметров ионизирующего излучения  
исследовательских ядерных установок**

*Г. Н. Пикулина, М. А. Овчинников, В. А. Юхневич, А. С. Кошелев, Ю. М. Дроздов,  
Н. В. Распопов, В. С. Майорников, И. М. Пискорский*  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В статье рассматриваются принципы построения, структура и функциональные особенности разработанных во ВНИИЭФ специализированных систем контроля физических параметров исследовательских ядерных установок (ИЯУ): универсальных многофункциональных систем для регистрации широкого спектра параметров ионизирующего излучения ИЯУ и специализированных комплексов, предназначенных для измерения отдельных физических характеристик или привязанных к конфигурации эксперимента.

*Ключевые слова:* исследовательская ядерная установка, нейтронно-физические параметры ионизирующего излучения, гамма-излучение, измерительный канал, управляющее программное обеспечение.

УДК 621.039.53

**Результаты физического пуска исследовательской ядерной установки ИГРИК-2  
в стационарном режиме**

*А. А. Манаков, А. Ш. Хамидулин, В. В. Захаров, Д. В. Хмельницкий, О. А. Мингазов,  
С. А. Андреев, С. В. Шугаев, С. Г. Порубов*  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск Челябинской обл.

Описаны системы исследовательской ядерной установки ИГРИК-2. Представлены результаты физического пуска ИЯУ ИГРИК-2 в стационарном режиме.

*Ключевые слова:* исследовательская ядерная установка, физический пуск, критическое состояние на запаздывающих нейтронах.

УДК 621.039.57

**Исследование возможности применения импульсного метода для измерения реактивности размножающих систем с отражателем**

**М. А. Воинов, В. В. Воронин, В. В. Кулик, О. А. Голубева**  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Проведены эксперименты по регистрации в диапазоне от 0 до 40 мкс сигнала спада излучения активной зоны реактора ГИР2 при воздействии на нее внешнего интенсивного импульса нейтронов длительностью ~1 мкс. Исследовался интервал реактивности от подкритических ( $-7,5 \beta$ ) до критических ( $+0,28 \beta$ ) состояний реактора. Выяснено, что сигнал используемого детектора с пластмассовым сцинтиллятором зависит от реактивности и пропорционален изменению плотности термализованных нейтронов в конверторе реактора. В результате работы показано, что решение задачи определения реактивности реактора ГИР2 на основании измерения спада сигнала сцинтилляционного детектора и известного выражения  $\alpha_{\infty} = \frac{\beta}{\Lambda}(\rho - 1)$ , для расчета значений реактивности, возможно лишь для состояний с реактивностью не ниже  $\sim -3 \beta$ .

*Ключевые слова:* размножающие системы с отражателем, реактивность, сцинтилляционный детектор.

УДК 621.039.53

**Результаты исследований характеристик реактора ЯГУАР после модернизации**

**А. А. Манаков, А. Ш. Хамидулин, В. В. Захаров, О. А. Мингазов, С. А. Андреев,  
С. В. Шугаев, С. Г. Порубов**  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск Челябинской обл.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований характеристик ядерного гомогенного уранового аperiодического реактора (ЯГУАР), полученные в процессе физического пуска реактора после его модернизации.

*Ключевые слова:* реактор ЯГУАР, активная зона реактора, физический пуск.

УДК 621.039.53

**Определение интенсивности эффективного независимого источника нейтронов в активной зоне реактора ЯГУАР**

**А. А. Манаков, А. Ш. Хамидулин, В. В. Захаров, О. А. Мингазов,  
С. В. Шугаев, С. Г. Порубов**  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск Челябинской обл.

В ходе выполнения работы изготовлен и испытан новый импульсный канал контроля нейтронного потока, проведены измерения с использованием нового канала, определена величина внутреннего источника нейтронов в активной зоне реактора.

*Ключевые слова:* импульсный канал контроля нейтронного потока, реактор ЯГУАР, внутренний источник нейтронов, активная зона реактора.

УДК 539.1.07

**Верификация расчетной модели полупроводникового детектора, входящего в состав радиометрической установки**

*А. А. Александров, И. Ю. Дроздов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Приведено краткое описание расчетной модели детектора и элементов его конструкции. Рассмотрены три варианта геометрии измерений «источник – детектор». Представлены результаты расчета и измерений чувствительности детектора по модели для разных вариантов геометрии и проведено их сравнение. Проведена верификация расчетной модели с использованием коллимированного пучка гамма-квантов. Представлены значения степеней согласия расчетных и экспериментальных данных и приведены выборочные значения поправок для стандартных используемых образцов на отличие калибровочной геометрии «ОСГИ – детектор» от типичной геометрии измерения «диск – детектор».

*Ключевые слова:* полупроводниковый детектор, расчетная модель, верификация расчетной модели, геометрия измерений «источник – детектор», чувствительность детектора, точечный источник, поправки для стандартных используемых образцов.

УДК 621.039.51

**Прецизионные интегральные эксперименты с размножающей системой из плутония и обедненного урана и их численное моделирование**

*С. С. Бесов, А. А. Вайвод, Л. С. Ершова, А. В. Лукин, Д. А. Прокопьев,  
Ю. А. Соколов, П. Л. Тупицин, Д. В. Хмельницкий, А. А. Юдов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск Челябинской обл.

Представлено сравнение результатов критических и корреляционных экспериментов с размножающей системой из металлического плутония во всестороннем отражателе из обедненного урана с результатами их численного моделирования методом Монте-Карло по программам ПРИЗМА-Д и ПРИЗМА при использовании библиотек нейтронных констант ENDF-B6.8 и ENDF-B7.1.

*Ключевые слова:* критические и корреляционные эксперименты, критический зазор размножающей системы, асимптотическая постоянная спада, время жизни мгновенных нейтронов, библиотека нейтронных констант.

УДК 621.397.4

**Интегрированная с суз видеосистема, контролирующая отсутствие человека в зале исследовательской ядерной установки**

*В. В. Пешков, И. В. Жуков, А. А. Девяткин, М. В. Мочкаев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Рассмотрен подход к созданию видеосистемы, осуществляющей независимый от человеческого фактора контроль обстановки в реакторном зале. При обнаружении фактора опасности система формирует тревожный сигнал, направляемый в систему управления и защиты реактора. Сигнал обеспечивает акцентирование внимания оператора и блокировку возможности повышения реактивности реактора.

*Ключевые слова:* автоматизированный контроль, активная зона, тревожная ситуация, алгоритм сравнения, опорная сцена, поле зрения камер.

УДК 621.039.55

**Сравнение возможностей «БАРС-5», «ТИРАН» с однозонными реакторами типа «БАРС»**

***А. А. Снопков, С. А. Андреев, В. И. Литвин, Д. В. Зайцев, А. Л. Подъезжих,  
В. И. Черашев, В. В. Сукневич***

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск Челябинской обл.

Приведены новые возможности многозонных реакторов «БАРС-5», «ТИРАН» по сравнению с однозонными апериодическими импульсными реакторами типа «БАРС».

*Ключевые слова:* импульсный реактор, активная зона, реактивность.

УДК 621.039.512

**Быстрый импульсный блок реактора БР-К1М**

***А. С. Кошелев, И. А. Никитин, В. Х. Хоружий***  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Приводится анализ результатов расчета и эксперимента, связанных с возможностью применения на реакторе БР-К1М блока массой ~1,0 кг и скоростью ввода реактивности ~100  $\beta_{эф}/с$ . Блок предназначен для генерирования импульсов делений на мгновенных нейтронах полушириной ~600 мкс при энерговыделении в активной зоне  $\square 3 \cdot 10^{18}$  дел. АЗ. Приведены параметры пневматического привода исполнительного механизма и особенности его конструкции, обеспечивающие перемещение блока со скоростью ~9 м/с.

*Ключевые слова:* бустер-реактор, модернизация, стальной чехол, титановый сплав, напряжение, деформация, отражатель, быстрый импульсный блок.

УДК 621.039

**Развитие технологии критмассовых измерений в РФЯЦ-ВНИИТФ**

***Ю. А. Соколов***

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск Челябинской обл.

Обобщен и систематизирован опыт работы РФЯЦ-ВНИИТФ за период с 1970 г. в области критмассовых измерений. Рассмотрены особенности постановки на стенде для критических сборок РФЯЦ-ВНИИТФ ФКБН (ФКБН-М, ФКБН-2) критмассовых экспериментов benchmark типа. Приводится краткое описание ряда критических экспериментов, выполненных в разное время на стенде ФКБН со сферическими и цилиндрическими сборками из металлических урана и плутония. Обсуждаются вопросы необходимости и путей сохранения первичной экспериментальной информации по критсборкам.

*Ключевые слова:* критическая сборка, металлический уран, металлический плутоний, отражатель, метод Монте-Карло, эффективный коэффициент размножения, библиотеки ядерных данных.

УДК 621.039.53

**Расчетное обоснование конструктивной схемы воздушного охлаждения активной зоны реактора БР-К1 при работе в статическом режиме**

***Л. С. Шалаева, И. А. Никитин***  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Приведено краткое описание активной зоны реактора и особенности ее конструкции. Представлены результаты физического пуска реактора БР-К1 в статическом режиме работы на проектной мощности 30 кВт (энергосодержание  $3 \cdot 10^{18}$  дел). Показаны причины, ограничивающие эксплуатационные параметры реактора. Разработана конструктивная схема воздушного охлаждения активной зоны. Проведены расчеты термомеханического деформирования корпуса в блоках активной зоны и эффективности охлаждения ее воздушным потоком. Определены предельные уровни мощности безопасной работы БР-К1 в статическом режиме при естественной и вынужденной конвекции.

*Ключевые слова:* бустер-реактор, активная зона, статический режим, естественная конвекция, вынужденная конвекция, герметизирующие чехлы, термомеханическое деформирование, турбулентный режим течения, система охлаждения, хладагент.

УДК 621.039.56

### **Способы генерирования импульсов делений в режиме «с мощности» на реакторах «БАРС-5», «ТИРАН»**

*С. А. Андреев, А. А. Снопков, Н. В. Горин, В. И. Черашев, В. В. Сукневич*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск Челябинской обл.

Рассмотрены пять способов генерирования импульсов делений в реакторах типа «БАРС» в режиме «С мощности», в которых освобожден от регуляторов реактивности либо объем между АЗ, либо экспериментальный канал (каналы).

*Ключевые слова:* импульсный реактор, активная зона, реактивность.

УДК 539.17+002.63+681.3

### **Деятельность центра ядерно-физических данных РФЯЦ-ВНИИЭФ по развитию международной библиотеки экспериментальных ядерных данных EXFOR**

*Г. Н. Пикулина, С. М. Таова*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Центр ядерно-физических данных (ЦЯФД) функционирует в РФЯЦ-ВНИИЭФ с 1997 г. ЦЯФД входит в международное объединение центров данных по ядерным реакциям, действующее под эгидой МАГАТЭ (Nuclear Reaction Data Centre Network – NRDC) [1]. Основная цель международной сети заключается в распространении информации по ядерным реакциям среди мирового сообщества. В статье приведено описание деятельности ЦЯФД в рамках NRDC по развитию международной библиотеки экспериментальных ядерных данных EXFOR.

*Ключевые слова:* экспериментальные данные по ядерным реакциям; взаимодействие нейтронов, заряженных частиц и гамма-квантов с ядрами; база данных; EXFOR; компиляция; программный комплекс; редактор; достоверность числовых данных; программа оцифровки.