**Резюме проекта, выполненного в рамках ФЦП**

**«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.»**

**(итоговое)**

Номер контракта: 02.740.11.0050.

Тема: *«Создание нового поколения спектрометрических приборов измерения ионизирующих излучений и дозиметрического контроля и систем жизнеобеспечения спецобъектов с ядерными реакторами на их основе».*

Приоритетное направление: *Атомная энергетика, ядерный топливный цикл, безопасное обращение с радиоактивными отходами.*

Критическая технология: *Перспективные вооружения, военная и специальная техника.*

Плановое финансирование проекта: 16 млн. руб.

 Бюджетные средства 11 млн. руб.

 Внебюджетные средства 5 млн. руб.

Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Юго-Западный государственный университет»

Ключевые слова: Ионизирующие излучения, измерения, взаимодействия с веществом, детекторы, энергетические спектры, нейтроны, имитационное моделирование, спектрометрия, блоки детектирования, приборы радиационного контроля.

**1. Цель исследования**

1.1. Формулировка задачи (проблемы), на решение которой направлен реализованный проект

*Проект направлен на решение проблемы создания спектрометрических приборов для измерения ионизирующих излучений различных видов, что позволит устранить энергетические погрешности при измерении интегральной плотности излучений и амбиентной дозы. Кроме того, спектрометрические измерения открывают перспективы создания приборов для идентификации нуклидного состава источников излучения, что является актуальной практической задачей для всей атомной отрасли.*

 1.2.Формулировка цели реализованного проекта; конечного продукта, созданного с использованием результатов, полученных при выполнении проекта; место и роль проекта и его результатов в решении задачи/проблемы, сформулированной в п. 1.1.

 *Реализация проекта заложила научные основы для разработки нового поколения интеллектуальных спектрометрических приборов для измерения ионизирующих излучений и дозиметрического контроля, а также высоконадёжных систем жизнеобеспечения спецобъектов, в том числе и с ядерными реакторами. Центральное место в нём занимает разработка нового подхода к измерению энергетического спектра нейтронного излучения в реальном масштабе времени. Эта задача имеет важное научное и практическое значение, поскольку все существующие методы измерения спектра нейтронного излучения являются по своей сути лабораторными методами исследования и не могут использоваться для проведения измерений в реальном масштабе времени. В настоящее время на основе результатов, полученных в проекте создан макетный образец спектрометра нейтронного излучения реального времени и проводится его экспериментальное исследование.*

**2. Основные результаты проекта**

1) Краткое описание основных полученных результатов

*В результате выполнения проекта разработана моделирующая имитационная система, с помощью которой проведено имитационное моделирование спектрометра нейтронного излучения на основе серийно выпускаемого трёхканального блока детектирования БДКС-05С.*

2) Основные характеристики созданной научной продукции

*Результаты моделирования показали высокую эффективность разработанного подхода к созданию нейтронного спектрометра реального времени. На моделях потоков нейтронов с самой разнообразной формой спектра методическая среднеквадратическая погрешность его восстановления с помощью предварительно обученной нейронной сети не превышала 1 %. Это стимулировало разработку экспериментального образца такого спектрометра. которая была выполнена на заключительном этапе работы. Проведена также разработка экспериментальных образцов интеллектуальных блоков детектирования гамма-излучения и объёмной бета-активности аэрозолей воздушной среды для распределённой системы жизнеобеспечения ответственных объектов и глубокая модернизация универсального радиометра-дозиметра всех видов ионизирующих излучений МКС-02СМ.*

3) Оценка элементов новизны научных (конструкторских, технологических) решений.

 *Существенной научной новизной обладает предложенный способ измерения энергетического спектра нейтронного излучения, заключающийся в использовании нескольких параллельно включённых детекторов нейтронного излучения, имеющих различные зависимости чувствительности от энергии нейтронов, отличающийся тем, что выходные сигналы этих детекторов обрабатываются совместно с помощью специально обученной нейронной сети, обеспечивая вычислительное восстановление энергетического спектра измеряемого потока нейтронов и его производных характеристик, а сами детекторы подбираются таким образом, чтобы зависимости их чувствительностей от энергии нейтронов совместно перекрывали весь энергетический диапазон измеряемых нейтронных потоков.*

4) Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень.

 *В настоящее время известно два метода спектральных измерений нейтронных потоков: активационный анализ и метод, основанный на использовании многошаровых нейтронных спектрометров Боннера.*

 *Активационный анализ состоит в использовании определённых наборов веществ-индикаторов, которые под воздействием нейтронов превращаются в радиоактивные изотопы. Эти индикаторы на определённое время помещаются в измеряемое нейтронное поле, затем извлекаются из него и измеряется наведённая в них активность, которая пропорциональна числу прореагировавших с нейтронами ядер атомов, а оно, в свою очередь, пропорционально плотности измеряемого потока нейтронов и времени экспозиции индикатора в нём. Различные вещества-индикаторы имеют различные зависимости сечений реакций с нейтронами от энергии этих нейтронов. Это позволяет подбирать такие наборы этих индикаторов, по результатам активации которых в измеряемом нейтронном потоке удаётся вычислительным путём с помощью специальных программ восстанавливать спектр этого потока.*

 *Измерения спектров нейтронных потоков с использованием многошаровых спектрометров Боннера основаны на трансформации спектра нейтронного излучения при прохождении через замедлитель (обычно водородсодержащее вещество). Измерения нейтронного потока проводятся последовательно одним и тем же детектором, помещаемым в сферы из замедлителя нейтронов (борированный полиэтилен) разного диаметра с различной толщиной стенок. Результаты этих измерений обрабатываются на ЭВМ по специальным программам, позволяющим восстанавливать исходный энергетический спектр измеряемого потока.*

 *Очевидно, что оба эти способа неприменимы для проведения измерений в реальном масштабе времени и являются фактически лабораторными методами исследования, а не измерительными приборами.*

 *Что же касается прямых методов измерения скорости нейтронов (времяпролётного и гравитационного), то, во-первых, их вообще нельзя использовать для измерений спектров произвольных нейтронных потоков, поскольку в качестве источников нейтронного излучения в них используются ядерные реакторы или ускорители заряженных частиц, при бомбардировке которыми мишени вылетают нейтроны. Кроме того, они реализуются с помощью уникальных и чрезвычайно дорогостоящих ядерно-физических установок, которые предназначены для совершенно иных целей.*

**3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках исследования, разработки**

1. Программа ЭВМ: Моделирование энергетических спектров нейтронного излучения с произвольным разбиением их на энергетические интервала. Свидетельство о государственной регистрации № 2011619071. Заявка № 2011617322 от 30.09.2011. Россия.

2. Программа ЭВМ: Моделирование аппаратных гамма-спектров радиоактивных источников со сложным нуклидным составом. Свидетельство о государственной регистрации № 2011619068. Заявка № 2011617318 от 30.09.2011. Россия.

3. Программа ЭВМ: Построение энергетических спектров нейтронного излучения с использованием нейронных сетей. Свидетельство о государственной регистрации № 2011619067. Заявка № 2011617317 от 30.09.2011. Россия.

**4. Назначение и область применения результатов проекта**

1) Описание областей применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут или уже используются полученные результаты или созданная на их основе инновационная продукция).

*Разрабатываемый нейтронный спектрометр реального времени является полностью инновационной продукцией и может быть использован:*

*- для контроля основных технологических процессов на всех этапах ядерного топливного цикла: от поиска, добычи и обогащения урановых руд до утилизации и захоронения отработанного ядерного топлива и технологических радиоактивных отходов;*

*- для контроля радиационной обстановки на ядерных объектах по нейтронной компоненте излучения;*

*- для измерения интегральной плотности нейтронных потоков и дозиметрических характеристик с исключением энергетических погрешностей в широком энергетическом диапазоне при разнообразной форме спектра нейтронного излучения;*

*- для идентификации изотопного состава радиоактивных источников путём измерения и анализа энергетического спектра нейтронной составляющей излучения;*

*- для измерения спектральных характеристик нейтронных детекторов в широком энергетическом диапазоне.*

*- для проведения различных экспериментальных ядерно-физических исследований, требующих точных измерений энергетического спектра нейтронных потоков.*

2) Описание практического внедрения полученных результатов или перспектив их использования.

*Проведение на основе полученных результатов ОКР и освоение производства нейтронных спектрометров реального времени создаёт новую нишу на внутреннем и мировом рынках аппаратуры радиационного контроля.*

*Проведенные работы по модернизации универсального радиометра-дозиметра МКС-02СМ позволит существенно улучшить его технические, метрологические и эксплуатационные характеристики при одновременном снижении себестоимости его производства, что повысит его конкурентоспособность на внутреннем и мировом рынках и позволит увеличить масштабы производства. Для реализации этого направления необходимо проведение ОКР.*

3) Оценка или прогноз влияния полученных результатов на развитие научно-технических и технологических направлений; разработка новых технических решений; на изменение структуры производства и потребления товаров и услуг в соответствующих секторах рынка и социальной сферы.

*Создание спектрометра нейтронного излучения реального времени является принципиально новым научно-техническим направлением, востребованным в ядерной физике, атомной энергетике и всей ядерной отрасли. Доведение этой работы до создания и освоения выпуска промышленных образцов создаст новую нишу в мировом и отечественном ядерном приборостроении и позволит существенно повысить радиационную безопасность на ядерных объектах, поскольку в настоящее время нейтронное излучение на этих объектах практически не контролируется вследствие отсутствия соответствующих приборов (лишь эпизодически, чаще всего при проведении пусковых работ на ядерных объектах может проводится контроль нейтронной составляющей излучения методом активационного анализа).*

*Переход к спектрометрическим измерениям других видов радиационных излучений позволит существенно повысить точность измерения мощности поглощённой и эквивалентной дозы излучения, полностью устранив свойственную всем ныне существующим дозиметрам энергетическую погрешность, которая может достигать сотен процентов при несоответствии энергетического спектра измеряемого излучения, спектру образцового источника, по которому производилась калибровка дозиметра.*

**5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

1) Описание ожидаемых социально-экономических и др. эффектов от использования товаров и услуг, созданных на основе полученных результатов (повышение производительности труда, снижение материало- и энергоёмкости производства, уменьшение отрицательного техногенного воздействия на окружающую среду, снижение риска смертности, повышение качества жизни и т.п.).

*Основным эффектом от внедрения результатов проекта путём доведения их до промышленного выпуска новых приборов для измерений и контроля радиационных излучений является повышение радиационной безопасности ядерных объектов для персонала, окружающего населения и экологии.*

**6. Формы и объёмы коммерциализации результатов проекта**

1) Существующие или возможные формы коммерциализации полученных результатов: организация производства продукции и/или оказание услуг, в том числе с образованием нового юридического лица или без него; заключение лицензионных договоров, заключение договоров уступки прав на РИД, либо указать: «Коммерциализация проектом не предусмотрена».

*В принципе возможны любые из названных форм коммерциализации полученных результатов. Однако наиболее реалистично выглядит проведение необходимых для коммерциализации ОКР совместно с ОАО «Курский завод «Маяк», поскольку он располагает необходимой производственной и испытательно-метрологической базой для производства средств радиационного контроля, а также лицензии на производство таких средств и их метрологическую аттестацию. К сожалению, уже много лет данное предприятие испытывает большие финансовые трудности и не может выделить достаточно собственных средств на проведение ОКР и подготовку производства новой продукции. Существующие формы государственного субсидирования работ по освоению новой наукоёмкой и высокотехнологичной продукции с привлечением вузов или научных организаций требуют вложения предприятием такого же объёма собственных средств, как и запрашиваемая субсидия, чего данное предприятие выполнить не в состоянии.*

*В принципе возможна организация при вузе малого инновационного предприятия (МИП) по разработке новых средств радиационного контроля. Но организовать её производство силами такого малого предприятия невозможно в силу отсутствия соответствующей производственной и испытательной базы. Такая база есть на Курском заводе «Маяк» и подкреплена соответствующими лицензиями, но пока не существует приемлемых организационных форм взаимовыгодного сотрудничества МИП и завода.*

2) Описание видов новой и усовершенствованной продукции (услуги), которые могут быть созданы или уже созданы на основе полученных результатов интеллектуальной деятельности (РИД); указание предполагаемых или фактических рынков сбыта (с указанием сегмента, емкости и доли рынка и прогноза развития рынков сбыта на 5 лет), прогнозируемых или фактических объемов продаж на внутреннем и внешних рынках, предполагаемых сроков окупаемости.

*К таким видам новой продукции относятся нейтронный спектрометр реального времени, новый универсальный радиометр-дозиметр (взамен МКС-02СМ), а также интеллектуальные блоки детектирования радиационных излучений для распределённых систем жизнеобеспечения и радиационного мониторинга.*

*Поскольку нейтронный спектрометр является принципиально новым видом продукции, то соответствующая ниша рынка пуста. Отдалёнными аналогами являются многошаровые спектрометры Боннера (в промышленных масштабах нигде не производятся) и нейтронная спектрометрия методом активационного анализа. Но первые требуют нескольких часов для проведения одного измерения, а вторые – нескольких суток. Т.е. это не измерительные приборы реального времени, а методы лабораторного анализа. Кроме того, оба эти метода требуют высококвалифицированного персонала. С одной стороны такое положение говорит о высокой конкурентоспособности нового вида продукции. Но с другой стороны несформированность рынка создаёт препятствия по реализации такой продукции, тем более в ядерном приборостроении, которая является в нашей стране высокомонополизированной отраслью, техническую политику которой полностью определяет Росатом. Поэтому на начальном этапе основными потребителями данной продукции видятся исследовательские ядерно-физические центры и организации, которых в стране не так много. В атомной энергетике и атомной промышленности без санкции и соответствующих руководящих документов Росатома формирование ёмкого российского рынка проблематично. Более перспективен на первом этапе зарубежный рынок, где данные спектрометры могут легко вытеснить спектрометры Боннера.*

*По другим видам продукции соответствующие ниши на отечественном существуют, но хотя предполагаемая новая продукция обладает рядом неоспоримых конкурентных преимуществ по сравнению с весьма устаревшим парком приборов и систем на предприятиях атомной отрасли, но пробиться на этот рынок новым игрокам будет нелегко в силу уже давно сложившихся связей между поставщиками подобной продукции и потребителями. За заказы идёт жестокая борьба, хотя этот рынок весьма ёмкий и составляет десятки миллиардов рублей в год (приборное обеспечения энергетического блока АЭС составляет примерно половину всей его стоимости), а в связи с ужесточением норм радиационной безопасности более 80% существующего на АЭС приборного парка требует замены, не говоря уже о вновь строящихся АЭС.*

Профессор кафедры КиТЭВС В.Э. Дрейзин