

УДК 621.039.55 + 621.039.312.45

С.М. Дмитриев<sup>1</sup>, В.А. Малышев<sup>1</sup>, М.С. Осипов<sup>2</sup>, В.В. Самусенков<sup>2</sup>

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ-ФИЗИКОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ОАО «Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова»<sup>2</sup>

Рассмотрен проект универсального нейтронного конвертора - исследовательской установки, предназначенной для обеспечения заданного (стандартного) значения плотности потока тепловых и замедляющихся нейтронов. Приведен краткий структурный анализ развития конструкции при реализации научно-инженерного подхода к проектированию. Освещены особенности конструкции, этапы создания и научно-практическая ценность изделия.

*Ключевые слова:* нейтронная физика, детекторы, активационный метод, измерения, нейтронный конвертор, конструкция.

### Введение

Базовым учебным заведением, готовящим кадры для ОАО «ОКБМ Африкантов», является Институт ядерной энергетики и технической физики (ИЯЭ и ТФ), входящий в состав Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. В связи с интенсивным развитием ядерной энергетики повышаются требования к качеству подготовки специалистов и формированию соответствующих компетенций. В рамках создания экспериментально-стендовой базы для подготовки инженеров-физиков поставлена задача по созданию универсального нейтронного конвертора - устройства для конвертирования быстрых нейтронов изотопных источников в потоки тепловых (термализованных) и замедляющихся нейтронов с заданными спектральными параметрами общепринятой двухкомпонентной модели энергетического распределения (например, таких, как эффективная температура нейтронного газа  $T_{\text{эфф}}^{н.г}$  и параметр отклонения спектра замедляющихся нейтронов от закона  $1/E$ ) [1, 2].

Основное назначение универсального нейтронного конвертора – сличение и калибровка (по эффективности регистрации) различных типов детекторов в потоках тепловых и замедляющихся нейтронов: ионизационных камер, камер деления, борных счетчиков, активационных и трековых детекторов (мишеней) и т. п., используемых в исследованиях на подкритических, критических стендах, ядерно-физических установках и энергетических реакторах – как в рамках обучения будущих специалистов, так и в рамках выполнения научно-практических задач [1–6].

Кроме того, универсальный нейтронный конвертор должен обеспечивать возможность выполнения других исследовательских и практических работ, таких как определение изотопного состава делящихся материалов активационным методом и методом подсветки нейтронами с низкоэнергетическим спектром.

При проектировании универсального нейтронного конвертора учитывалось, что его устройство должно отвечать требованиям по безопасности в соответствии с действующей нормативной документацией.

### Принципиальная схема и конструктивные особенности проекта

Для выполнения поставленных задач универсальный нейтронный конвертор должен обеспечивать конвертирование потока нейтронов спектра деления, излучаемых изотопными источниками, в «стандартизованное» значение плотности потока с известными (заданными) параметрами спектра тепловой (термализованной) и замедляющейся компонент плотности потока нейтронов в объеме центральной части изделия, который является рабочей полостью универсального нейтронного конвертора.

Работы по созданию универсального нейтронного конвертора начались с теоретического анализа аналогичных установок, используемых как в нашей стране, так и за рубежом [1] и последующей разработки и расчетного обоснования принципиальной схемы, обеспечивающей необходимую функциональность изделия (рис. 1).



**Рис. 1.** Принципиальная схема универсального нейтронного конвертора

Схема и способ размещения изотопных источников нейтронов обеспечивают предельно возможную однородность (изотропность и равномерность аксиально-радиального распределения) плотности потока тепловых нейтронов в объеме рабочей полости изделия. Кроме того, снаружи предусмотрена биологическая защита для обеспечения безопасного доступа к изделию для проведения работ.

Для конвертирования потока быстрых нейтронов использована комбинированная (двойная) замедляющая нейтроны среда – водородосодержащий замедлитель (парафин) и реакторный графит. Источник нейтронов симметрично размещен в водородосодержащей компоненте на расстоянии двух длин диффузии тепловых нейтронов от границы с центральным графитовым замедлителем.

В качестве источников нейтронов спектра деления использованы закрытые малогабаритные источники нейтронов спектра деления на основе оксида радионуклида калифорния – 252 (Cf-252) типа НК252М41.28 в двойной оболочке из коррозионностойкой стали. Мощность нейтронных источников  $\sim 2 \times 10^6$  нейтр./с в  $4\pi$  телесный угол.

Идеальным вариантом могла быть шарообразная конструкция универсального нейтронного конвертора, однако на практике реализация такого решения представляется весьма затруднительной. Была выбрана цилиндрическая конструкция с профилированной геометрией, приближающей конструкцию к шарообразной (рис. 2).

В качестве графитовой замедляющей среды использованы цилиндрические блоки из реакторного графита. Графитовая замедляющая вставка формируется из трех таких блоков.

Графитовая конструкция предусматривает:

- по центру: рабочую полость с линейными размерами, обеспечивающими размещение в ней нейтронных детекторов типа пропорциональных борных счетчиков, малогабаритных камер деления, родиевых детекторов прямого заряда, активационных детекторов и т.п.;
- на периферии - три вертикальные сквозные цилиндрические проходки, равномерно расположенные относительно друг друга, предназначенные для тестирования “закор-

пусных” нейтронных ионизационных камер аппаратуры контроля нейтронного потока критических стенов.

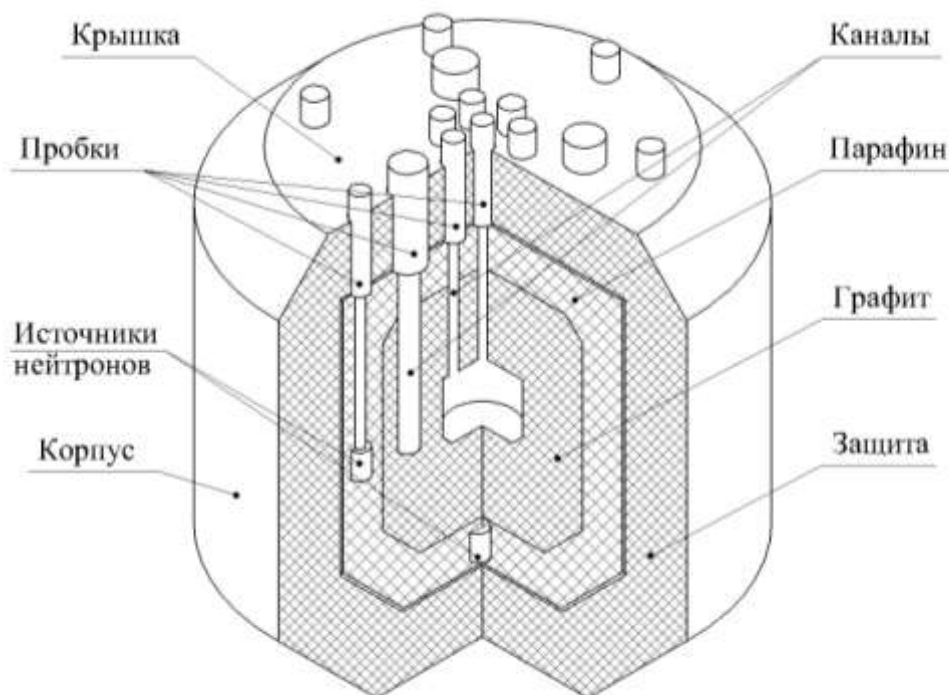


Рис. 2. Конструктивная схема универсального нейтронного конвертора

Периферия универсального нейтронного конвертора выполняет функции биологической защиты. В качестве материалов биологической защиты использованы водородосодержащие материалы с добавками бора. Такой вариант представляется наиболее рациональным по результатам анализа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области защиты от ионизирующих излучений [7]. Корпус выполняет несущую функцию, на нем установлены все вспомогательные устройства изделия, в качестве материала корпуса использована коррозионностойкая сталь.

Нейтронные источники на основе радионуклида Cf-252, использованные в составе изделия, являются источниками повышенной активности с выходом смешанного гамма-нейтронного излучения. Биологическая защита собрана таким образом, чтобы обеспечивать максимально возможное снижение как фона тепловых и надтепловых нейтронов, так и гамма-фона (первичного и вторичного (захватного) гамма-излучения) за пределами наружной поверхности корпуса универсального нейтронного конвертора. Расчетная мощность эквивалентной дозы на наружных поверхностях изделия (с установленными источниками) по результатам расчетов, выполненных по программе DOT-III, не превышает допустимых значений.

Для снижения нейтронного и гамма-фона приняты следующие меры: каждый из источников экранирован слоем свинца, свинцовая защита вмонтирована в фиксированных точках в водородосодержащей компоненте.

В верхней торцевой защите изделия предусмотрены сквозные вертикальные цилиндрические каналы-проходки для установки нейтронных детекторов в центральную полость графитового блока посредством специальных держателей, с их помощью осуществляется фиксация детекторов в определенном положении относительно радиальной и продольной координаты рабочей полости универсального нейтронного конвертора. Количество проходок – шесть. Доступ к периферийным каналам-проходкам центрального графитового блока для постановки ионизационных камер во время проведения работ по сличению и калибровке осуществляется путем извлечения цилиндрических стержней-заглушек, изначально предна-

значенных для перекрытия пучков гамма-нейтронного излучения (имеющегося при отсутствии заглушек), а также для восстановления геометрии центральной части изделия при проведении работ без ионизационных камер. Нижние части стержней-заглушек изготовлены из графита, а верхние - из замедляющих и поглощающих нейтроны материалов, в точности аналогичных соответствующим материалам верхней торцевой части универсального нейтронного конвертора.

В качестве вспомогательных конструкционных материалов, используемых непосредственно по месту расположения замедляющей среды конверторного устройства, использованы материалы с минимально возможными величинами сечения захвата нейтронов, количество вспомогательных конструкционных материалов в составе центральной части выбрано минимальным для уменьшения локальных возмущений тепловой компоненты плотности потока нейтронов.

Особо проработан вопрос о загрузке и выгрузке нейтронных источников, в результате чего была разработана методология обеспечения качественного проведения указанных операций с минимальным присутствием человека в зоне повышенного радиационного воздействия. Основным принципом обеспечения безопасности является дистанционное проведение перегрузочных работ с применением приспособлений, позволяющих обеспечить защиту персонала и окружающей среды.

Разработка проектных материалов ведется с соблюдением действующих нормативных документов по безопасности, разрабатывается комплекс конструктивных и организационных мер для исключения несанкционированного доступа посторонних лиц к источникам нейтронов и исключения радиационного загрязнения окружающей среды и облучения людей. К конструктивным мерам следует отнести замки, закрывающие каналы с установленными источниками нейтронов, конструкцию самих каналов, которая не позволяет (максимально затрудняет) извлечение нейтронных источников из универсального нейтронного конвертора.

Конструкция универсального нейтронного конвертора позволяет провести ее утилизацию после окончания срока службы с использованием минимального числа инструментов, основные детали и материалы могут быть утилизированы в общем порядке, металлические детали из стали и циркониевого сплава могут быть направлены на переработку после проверки службой радиационной безопасности. Изделие не содержит токсичных и взрывоопасных веществ. Парафиновый замедлитель является горючим веществом, однако конструкция изделия обеспечивает исключение его самовозгорания или умышленного поджога.

### Выводы

Разработан проект многофункциональной установки-конвертора, позволяющей решать учебные, исследовательские и практические задачи.

Использование универсального нейтронного конвертора позволит обучающимся приобрести практические навыки нейтронно-физических измерений, применить полученные теоретические знания на практике еще в процессе обучения, то есть до поступления на работу на предприятия, и предоставит возможность углубленного изучения средств и методик измерений, связанных с нейтронной физикой и с физикой ядерных реакторов. Навыки, полученные при использовании изделия, пригодятся как специалистам эксплуатационных организаций, так и инженерам-проектировщикам, и в целом использование изделия позволит сформировать новые компетенции специалистов для атомной промышленности.

### Библиографический список

1. **Климентов, В.Б.** Активационные измерения потоков и спектров нейтронов в ядерных реакторах / В.Б. Климентов, Г.А. Копчинский, В.В. Фрунзе. Издательство стандартов, 1974. – 208 с.
2. **Ломакин, С.С.** Радиометрия нейтронов активационным методом / С.С. Ломакин, В.И. Петров, П.С. Самойлов. – М.: Атомиздат, 1975.

3. **Крамер-Агеев, Е.А.** Активационные методы спектрометрии нейтронов / Е.А. Крамер-Агеев, В.С. Трошин, Е.Г. Тихонов. – М.: Атомиздат, 1976.
4. Метрология нейтронных измерений на ядерно-физических установках: материалы I Всесоюзной школы; под ред. Р.Д. Васильева. – М.: ЦНИИАТОМ-ИНФОРМ, 1976. Т. 2.
5. **Абрамов, А.И.** Основы экспериментальных методов ядерной физики / А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. – М.: Атомиздат, 1977.
6. **Фролов, В.В.** Ядерно-физические методы контроля делящихся веществ / В.В. Фролов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 184 с.
7. **Бродер, Д.Л.** Малогабаритная защита реакторов / Д.Л. Бродер, К.К. Попков, С.М. Рубанов. – М.: Атомиздат, 1967.

*Дата поступления  
в редакцию 17.06.2010*

**S.M. Dmitriev, V.A. Malichev, M.S. Osipov, V.V. Samusenkov**

### **RESEARCH FACILITY FOR TRAINING OF ENGINEERS-PHYSICISTS**

The paper discusses the design of a universal neutron converter, which is a research facility intended to provide the assigned (standard) flux density of thermal and slowing-down neutrons. The paper gives a brief structural analysis of design evolution resulting from the scientific-engineering approach to the design process. Design features, development stages and scientific and practical relevance of the converter are discussed.

*Key words:* Neutron physics, detectors, activation method, measurements, neutron converter, design.