

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации ДАВИДЕНКО Владимира Дмитриевича
"Разработка детерминированных моделей повышенной точности и
программных комплексов для прямого моделирования физических
процессов в ядерных реакторах",**

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

К основным причинам развития методов расчета ядерных реакторов можно отнести необходимость разработки новых проектов реакторных установок (РУ), разработку новых топливных циклов уже находящихся в эксплуатации РУ, обоснование безопасности того и другого, развитие вычислительной техники и связанного с этим математического обеспечения. Несмотря на то, что возможности использования ядерной энергии, включая ядерную энергетику, в течении длительного времени не развивались, этого нельзя сказать о методах расчета ядерных реакторов. Они развивались и основной причиной этого были возрастающие требования к обоснованию безопасности объектов использования ядерной энергии (ОИЯЭ). В большей степени это относится к теплогидравлике (гидродинамике), однако развивались и методы нейтронно-физических расчетов. Определенная часть этого развития представлена в рассматриваемой диссертации. В развитых методах решение уравнения переноса осуществлялось детерминистическими и стохастическими (метод Монте-Карло) методами, что при современном развитии вычислительной техники дает наибольший эффект, как для получения необходимого результата, так и для оптимального времени счета. Что очень важно, представленные методы были реализованы в виде расчетных программ, расчет по которым дает широкий спектр параметров, необходимых для проектирования, сопровождения эксплуатации и обоснования безопасности РУ. По этой причине диссертация является актуальной.

Диссертант поставил перед собой **цель** создать расчетный инструмент для проведения как стохастических, так и детерминированных нейтронно-физических расчетов, которые проводятся на единой базе построения геометрического модуля и одной системы многогрупповых констант, связанной с системами оцененных ядерных данных. Такой подход должен, по мнению автора, гарантировать повышение точности расчетов. Был создан инструмент, который по возможностям можно сравнить с известными модульными системами как, например, AMPX (сейчас SCALE) и возможностями монте-карловских кодов таких как MCNP и SERPENT. Из автореферата следует, что **поставленная цель достигнута**.

Практическая значимость заключается в широком распространении разработанных автором расчетных программ в научно-исследовательских и проектных организациях, которые занимаются нейтронно-физическими расчетами, в том числе разработкой новых проектов РУ. В программах, которые предлагает диссертант, на одной и той же базе рассматриваются расчет переноса нейтронов, причем решение условно-критических задач и задач с источником, переноса гамма-квантов, расчет изотопного состава топлива и энерговыделения не связанного с делением. Как это сейчас принято, можно говорить о создании платформы для определенного типа расчетов с возможностью ее развития в будущем.

Среди **новых результатов** следует отметить следующие. Расчет с применением стохастического метода для расчетов изотопного состава, в том числе в процессе выгорания топлива, позволяет оценить неопределенность ядерных концентраций различных элементов. Решение уравнения переноса методом Монте-Карло путем предложенного в диссертации специального разбиения области, в которой рассматривается процесс переноса, позволяет значительно сократить время счета.

Достоверность полученных в диссертации результатов обоснована получением большого числа непротиворечивых результатов, применяемых при решении уравнения переноса, которое является точным для

рассматриваемых систем. Следует отметить, что при этом была возможность при генерации многогрупповых библиотек использовать разные файлы оцененных данных, включая версии библиотеки российских оцененных данных РОСФОНД.

Положения, которые выносятся на защиту соответствуют целям работы и полученным результатам, которые представлены в автореферате.

Апробация работы является весьма представительной, включает доклады на международных конференциях. Результаты, представленные в диссертации, регулярно докладывались и обсуждались на ежегодном отраслевом семинаре «НЕЙТРОНИКА». **Публикации** включают двадцать работ в списке журналов ВАК,

Личный вклад автора в представленную работу является основным, о чем свидетельствуют многочисленные публикации и выступления на семинарах.

Сделанные ниже замечания относятся к изложению материала в автореферате.

Замечание 1. Предлагая новые методы расчетов, автор не подчеркивает преимущество по точности или просто по возможности рассчитать необходимую величину с приемлемой для практики точностью. Это можно пояснить следующим образом. До сих пор актуален расчет энерговыделения за счет гамма-квантов в ячейке РБМК (рабочий канал + графит). Не совсем ясно временное поведение выгорания гадолиния в процессе полуторогодичной кампании в реакторе ВВЭР. Есть проблема концентрации ^{232}U в отработавшем топливе, где вызывает вопросы порядок величины. Была бы полезна демонстрация на одном-двух примерах отличия вновь полученных результатов от используемых в настоящее время.

Замечание 2. В настоящее время многие расчетчики пользуются в основном зарубежными построителями сеток, но есть и российские разработки. Это достаточно совершенные программные продукты, связанные с другими программными продуктами визуализации и т.д. Интересно было

бы указать место относительно этих продуктов мелкосеточного восполнения предложенного автором.

Замечание 3. При восполнении маленькими квадратами и кубами области возникает погрешность восполнения площадей поверхностей раздела. Известный пример (Л.П. Басс) – восполнение квадратами гипотенузы прямоугольного треугольника, катеты которого идут по осям координат.

Рекомендация. При верификации расчета изотопного состава и радиационных характеристик отработавшего топлива прецизионные, в основном монте-карловские, программы сразу переходят в разряд инженерных из-за верификации методом сравнения с данными измерений, например ядерными концентрациями изотопов, полученными разрушающими методами. Эти измерения по разным причинам обладают невысокой точностью и к тому же редко проводятся, либо не проводятся вовсе. Сравнения с результатами, полученными с помощью разработанных и реализованных автором методов расчета концентрации изотопов в выгоревшем топливе, могли бы оставлять эти коды прецизионными. В таких кодах есть потребность во многих областях расчетов.

Несмотря на сделанные замечания, после ознакомления с авторефератом, опубликованными работами автора, его докладами на семинаре «НЕЙТРОНИКА» можно отметить следующее. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, посвящена актуальной теме, содержит новые результаты, обладающие практической значимостью. В диссертации решена проблема, имеющая большое научно-техническое значение, по разработке методов расчета, реализации их в виде комплекса программ с широкими возможностями в области нейтронно-физического расчета, расчета переноса гамма-квантов и ядерных концентраций изотопов в процессе его выгорания и хранения. Применение предложенных методов может существенно повысить необходимую для обоснования безопасности

