

Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша РАН

«15» июля 2015 г.

Входящий № 116

Зиминская Н.В.
Кле

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»

доктор ф.-м. наук

А. А. Говердовский

2015 г.



О Т З Ы В

ведущей организации АО «ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт им. А. И. Лейпунского» на диссертацию Волощенко А. М. «Адаптивные положительные аппроксимации и согласованная КР1 схема ускорения итераций для уравнения переноса в задачах радиационной защиты», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Развитие многих направлений применения ядерных технологий в разных отраслях (ЯЭУ различного назначения и другие радиационно-опасные объекты) стимулирует совершенствование расчетных программ для получения радиационных характеристик большого многообразия конструктивных элементов на основе решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженных частиц с оценкой погрешности результатов. Традиционно методы решения уравнения переноса излучения в задачах его прохождения в веществе подразделяются на следующие группы: (1) метод Монте-Карло; (2) детерминистические методы: метод характеристик, S_n метод и др.; (3) инженерные методы: метод выведения-диффузии, метод синтеза 1D и 2D решений и др. Диссертация Волощенко А. М. посвящена развитию и программной реализации S_n метода в применении к задачам расчета радиационных характеристик конструктивных элементов, где применяются ядерные технологии.

Для достижения необходимой погрешности решения уравнений переноса нейтронов, гамма квантов и заряженных частиц в различных геометриях за приемлемые расчетные времена Волощенко А. М. разработаны эффективные разностные схемы 2-4-ого порядка точности, согласованные схемы ускорения внутренних и внешних итераций, алгоритмы распараллеливания вычислений, а также методы аппроксимации геометрии и источника на сетке задачи.

Волощенко А. М. предложена AWDD схема (Adaptive Weighted Diamond Differencing) 2-ого порядка точности для 1D криволинейных, 2D и 3D геометрий, основанная на использовании семейства взвешенных WDD (Weighted Diamond Differencing) схем. Достоинством этой схемы является ее положительность, консервативность, 2-ой порядок аппроксимации, приемлемый уровень монотонности, возможность использования в многомерной криволинейной геометрии, арифметическая простота алгоритма.

Для повышения точности аппроксимации уравнения переноса Волощенко А. М. предложено семейство нодальных взвешенных WLD-WLB/QC (Weighted Linear Discontinuous - Weighted Linear Best/Quadratic Continuous) схем 2-4-ого порядка точности. Погрешность получаемых с использованием представителей этого семейства схем: LB, LD, адаптивных LB и LD схем в приведенных в диссертации численных примерах говорит о потенциально высоком вычислительном выигрыше по сравнению с WDD схемами, который может быть получен при использовании данного семейства нодальных схем при решении практических задач.

Волощенко А. М. разработана также эффективная и полезная для практических расчетов KP_1 схема ускорения внутренних и внешних итераций по области термализации нейтронов и по источнику деления при решении подкритических задач. Для нодальной WLD-WLB/QC схемы им разработан алгоритм построения KP_1 схемы ускорения внутренних итераций для одномерных геометрий.

Волощенко А. М. разработаны эффективные алгоритмы расчета электронно-фотонного и адронного каскадов в различных приближениях; оригинальная методика распараллеливания вычислений, основанная на использовании OpenMP интерфейса и KBA (K. Koch, R. Baker, R. Alcouff) алгоритма; методика аппроксимации геометрии и источника задачи, основанная на использовании интерфейса между программой MCU, реализующей метод Монте-Карло, и S_n кодами, а также volume fraction (VF) метода, поддерживающего локальный баланс масс/источников излучения в системе.

Упомянутые выше схемы и алгоритмы, разработанные А. М. Волощенко (совместно с соавторами), реализованы в хорошо известном комплексе из 1D, 2D и 3D S_n кодов РОЗ-6.6, КАСКАД-С и КАТРИН для решения уравнений переноса ионизирующих излучений в различных конструкциях. Важным моментом является то, что разработанный комплекс программ позволяет использовать для расчетов существующие и хорошо себя зарекомендовавшие на практике стандартные многогрупповые и мультигрупповые библиотеки сечений: CONSYST/ABBN-93, библиотеки сечений из системы SCALE-6.1.2, проблемно-ориентированные библиотеки сечений: BUGLE-96, BGL-1000, BGL1000_B7, BGL440 и др. Для расчета переноса электронно-фотонного каскада используется константная система CEPXS-BFP, представляющая собой адаптированную версию константной системы CEPXS (Sandy Nat. Lab., USA). Для расчета переноса адронного каскада используется отечественная константная система САДКО-2.4 в сочетании с одной из стандартных библиотек сечений для нейтронов и фотонов.

Большое внимание в диссертационной работе её автор уделяет вопросам верификации и тестирования комплекса разработанных им программ с помощью имеющихся в его распоряжении результатов различных бенчмарк экспериментов и с помощью сравнения своих результатов с результатами других авторов. Разработанная диссертантом 3D S_n программа КАТРИН аттестована Ростехнадзором для расчета радиационных характеристик элементов реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. В настоящее время к аттестации подготовлены 2D и 3D S_n программы КАСКАД-С и КАТРИН для расчета радиационных характеристик элементов проектируемых реакторных установок БРЕСТ и МБИР.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что разработанный комплекс S_n программ позволяет решать широкий класс задач при создании ЯЭУ различного применения, снабжен пре- и пост- процессорами и достаточно полной документацией, позволяющий его использование без участия авторов. Комплекс внедрен в ряде научных центров и опытно-конструкторских бюро Росатома, а также передан в отечественные и зарубежные библиотеки программ: ОФАП ЯР, RSICC (RSICC code package CCC-726) и NEA Data Bank.

У АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» сложились, начиная с конца 60^х годов прошлого столетия, тесные творческие контакты с ИПМ РАН, в результате чего ФЭИ является одним из самых активных пользователей программами, разработанными в ИПМ, включая программы А. М. Волощенко. Они активно использовались в расчетах защиты строящегося в настоящее время быстрого энергетического натриевого реактора БН-800 и сейчас используются при проектировании перспективного реактора БН-1200 и многоцелевого быстрого исследовательского реактора МБИР. Не обошлось без применения программ диссертанта при проектировании и создании морских ЯЭУ надводного и подводного применения. Но наибольшим спросом в ФЭИ программы автора диссертации использовались и используются при разработке ЯЭУ космического и авиационного применения, где заказчик выставляет очень жесткие требова-

ния к весогабаритным характеристикам ЯЭУ и к погрешностям получаемых расчетных результатов.

Комплекс программ, разработанный диссертантом, применялся также при решении многих научно-практических задач. С его помощью был разработан облик высокотемпературного натриевого реактора для производства водорода, была обоснована радиационная безопасность на испытательном комплексе для космических ЯЭУ, была показана необходимость использования параметра сна (число смещений на атом), наряду с «флюенсом», для обоснования радиационной стойкости корпусов реакторов типа ВВЭР, имеются и другие применения.

Наряду со сказанным по материалам, представленным в диссертации, можно сделать два небольших замечания.

1. Из названия диссертации можно сделать вывод, что полученные автором диссертации результаты относятся только к задачам радиационной защиты. В действительности они относятся ко всем элементам реактора, для которых нельзя обойтись без расчета линейных функционалов от потоков ионизирующих излучений, например, при расчете активности элементов реактора, их термической и радиационной стойкости и др.
2. Материал диссертации выглядел более выигрышно, если бы диссертант кратко сформулировал наиболее значимые научно-практические результаты в выводах по диссертации в целом или по отдельным главам, включив в них, например, оценки выигрыша расчетного времени и снижения погрешности получаемых результатов при практическом использовании разработанных им схем и алгоритмов.

В целом диссертационная работа Волощенко А. М. является содержательным, оригинальным и логически завершенным научным исследованием. В ней решена крупная научная проблема: разработаны и программно реализованы оригинальные, позволяющие решать широкий класс задач в области радиационной физики с высокой точностью и с приемлемыми вычислительными затратами. Результаты, представленные в диссертации, прошли широкую апробацию в печати и в докладах на научных конференциях. А. М. Волощенко известен мировой научной общественности как высококвалифицированный специалист в области разработки методов и комплексов программ для проведения расчетов радиационных характеристик ЯЭУ. Представленная диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Автореферат достаточно полно отражает содержание самой диссертации.

Начальник отдела, кандидат ф.-м. наук

ГНС, доктор ф.-м. наук, профессор



А. П. Пышко



Э. Е. Петров