

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

На правах рукописи

Ковалишин Алексей Анатольевич

**АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
ДЛЯ РАСЧЕТНОГО АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ
РЕАКТОРОВ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТИВНЫХ
МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА.**

Специальность 05.13.18 - Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Москва -2011

Работа выполнена в Национальном исследовательском центре
«Курчатовский институт»

Научный консультант: доктор физико-математических наук,
профессор
Лалетин Николай Ильич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Жуков Виктор Тимофеевич
доктор физико-математических наук
Щукин Николай Васильевич
доктор технических наук
Цибульский Виктор Филиппович

Ведущая организация ГНЦ РФ Физико-Энергетический
Институт (ФЭИ)

Защита состоится «___» _____ 2011 г. В «___» час. На
заседании диссертационного совета Д 002.024.02 в Институте
прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН по адресу, 125047,
Москва, Миусская пл. д.4

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН

Автореферат разослан «___» _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.024.02
Кандидат физико-математических наук

Щерица О.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Очевидно, что развитие атомной энергетики невозможно без всестороннего и надежного обеспечения безопасной работы атомных станций. Известно, что нормально работающий реактор является наиболее экологичным источником наиболее дешевой электроэнергии, но ситуация кардинальным образом меняется когда мы рассматриваем последствия тяжелых аварий на АЭС. Помимо того, что последствия таких аварий являются поистине бедствием цивилизации (достаточно вспомнить Чернобыльскую катастрофу), возникает второй аспект проблемы, который заключается в том, что, если мы будем включать в цену электроэнергии риск от таких аварий, как это делается сейчас путем введения страховок, то атомная энергетика из производителя наиболее дешевой электроэнергии становится неконкурентоспособной. И дело здесь на наш взгляд в том, что не существует пока методик позволяющих оценить достаточно достоверно вероятность возникновения аварии, а без этого невозможно говорить о дальнейших путях развития атомной энергетики. В настоящее время удается добиться значительной точности в эксплуатационных расчетах, описывающих различные установки, но делается это за счет различных поправок

основанных на измерениях на уже работающих реакторах. В этом случае добиваются компенсации ошибок, подчас довольно значительных, и результирующая погрешность становится достаточно приемлемой. Фактически, мы получаем некоторый интерполяционный механизм с достаточно широкой, но все же ограниченной областью применения. Такой подход, безусловно, себя оправдывает, когда дело касается штатных ситуаций на известных типах реакторов, но абсолютно неприемлем для моделирования аварийных ситуаций, либо в тех случаях, когда для описываемой активной зоны нет достаточного количества экспериментальной информации, т. е. когда параметры системы выходят за область интерполяции.

Отсюда следует **актуальность** проблемы совершенствования вычислительных средств исследований реакторных систем, решение которой способствует не только повышению безопасности и эффективности эксплуатации реакторов и проводимых на них различных исследований, но и существенно ускоряет поиски наиболее оптимальных вариантов конструкции реакторов.

При построении нейтронно-физической модели необходимо добиться того, чтобы методическая погрешность на каждом этапе была наименьшей без использования подгоночных параметров.

Таким образом, исключая последовательно все источники расчетной погрешности, можно создать нейтронно-физическую модель ядерного реактора, которая включала бы в себя только погрешность от неточного знания ядерных данных, а также технологическую погрешность, а это означает, что модель будет включать в себя только систематическую погрешность, которую во многих случаях можно значительно ослабить.

В настоящей работе представлен комплекс программ нейтронно-физического расчета активных зон основанный на эффективных методах решения уравнения переноса нейтронов.

Цели данной работы

1. Провести модификацию уравнений метода поверхностных гармоник, позволяющую получать необходимую точность расчетных функционалов при оптимальных затратах расчетного времени.
2. Разработать алгоритмы получения необходимых характеристик кассет (групп ячеек) в различных приближениях для объектов различной геометрической структуры.

3. Разработать алгоритмы расчета активных зон различных типов реакторов.
4. Разработать алгоритмы сопряжения этапов расчетов характеристик кассет (групп ячеек) и расчета активной зоны, в том числе и восстановления микрополей из "крупносеточного" расчета. Определить оптимальные приближения метода поверхностных гармоник для различных активных зон.
5. На основе результатов пп. 1-4 создать и верифицировать комплекс программ нейтронно-физических расчетов активных зон основных типов ядерных реакторов.

Научная новизна работы

1. Проведено обобщение и развитие методов поверхностных гармоник (МПГ) и поверхностных псевдоисточников (МППИ), в том числе:
 - а. Разработана методика расчета поперечного коэффициента диффузии нейтронов в гетерогенных средах.

- b. Разработана методика расчета эффективных характеристик МПГ с использованием метода вероятности первых столкновений (МВПС).
 - c. Разработана методика расчета распределения дисперсии коэффициента размножения при заданных законах распределения исходных данных.
2. Разработаны методики и алгоритмы получения эффективных нейтронно-физических характеристик ячеек, кассет и полячеек для решеток различной структуры, требующихся для расчетов реакторов по методу поверхностных гармоник.
 3. Разработаны методики и алгоритмы получения на основе эффективных характеристик кассет решения в активной зоне по методу поверхностных гармоник. Разработаны алгоритмы получения информации о внутрикассетных распределениях из крупносеточного расчета.
 4. Определены оптимальные приближения метода поверхностных гармоник для расчетов объектов различной геометрической структуры. Проведена модификация уравнений МПГ, позволяющая наиболее оптимально сочетать временные затраты с необходимой точностью.

5. Разработанные методики реализованы в виде кодов SVL, SVC , комплекса программ SVS. Выполнена их верификация применительно к основным типам ядерных реакторов. Впервые разработан, создан и верифицирован комплекс программ для расчета нейтронно-физических характеристик активных зон, основанный на усовершенствованных методах расчета реакторов: МПГ и МППИ.

Практическая значимость работы:

Созданы коды SVL и SVC, которые используются в исследованиях по физике ВВЭР и РБМК и позволяют оценивать вклад от различных приближений, используемых в проектных исследованиях и эксплуатационных расчетах. Комплекс программ SVS а также его составляющие (самостоятельные модули SVL и SVC) прошли аттестацию в Федеральной Службе по экологическому технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), что является необходимым условием для использования данных программных средств в расчетах реакторов ВВЭР. В данный момент происходит внедрение SVS на

отечественных и зарубежных АЭС для целей сопровождения эксплуатации.

Достоверность представленных результатов

Достоверность результатов подтверждаются: точностью использованных современных библиотек ядерных данных, использованием уравнений повышенной точности, тщательной верификацией и валидацией расчетных модулей, наличием публикаций и докладов, обсуждением полученных результатов на различных конференциях и семинарах. Также достоверность полученных результатов подтверждается прохождением аттестационной процедуры в Ростехнадзоре.

Личный вклад автора в работу

Диссертант является соавтором основных работ, в которых ставились задачи и намечались пути их решения при разработке комплекса SVS.

Диссертант является одним из авторов кодов SVL, SVC и комплекса SVS. Эти программы создавались и верифицировались при непосредственном участии и при техническом руководстве диссертанта.

Программа SVL создана диссертантом за исключением модулей КЛАРА и РАЦИЯ. Программа SVC написана диссертантом полностью.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографии. Часть материала вынесена в четыре приложения. Работа изложена на 295 страницах, содержит 4 приложения, 78 рисунков, 32 таблицы и список цитируемой литературы из 99 наименований.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Методика и алгоритм получения эффективных нейтронно-физических характеристик ячеек, кассет и полячек для

решеток различной структуры, требующихся для расчетов реакторов по методу поверхностных гармоник.

2. Методика и алгоритм получения на основе эффективных характеристик кассет решения в активной зоне по методу поверхностных гармоник. Алгоритмы получения информации о внутрикассетных распределениях из крупносеточного расчета.
3. Определение оптимальных приближений метода поверхностных гармоник для расчетов объектов различной геометрической структуры. Модификация уравнений МПГ, позволяющая наиболее оптимально сочетать временные затраты с необходимой точностью.
4. Практическая реализация разработанных методик в виде кодов SVL, SVC, комплекса программ SVS, и результаты их верификации применительно к основным типам ядерных реакторов.
5. Обобщение и развитие методов поверхностных гармоник и поверхностных псевдоисточников, в том числе:
 - а. Методика расчета поперечного коэффициента диффузии нейтронов в гетерогенных средах.
 - б. Методика расчета эффективных характеристик МПГ с использованием МВПС.

- с. Методика расчета распределения дисперсии коэффициента размножения при заданных законах распределения исходных данных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность разработки и развития методов и алгоритмов решения уравнения переноса нейтронов и создания программных комплексов для расчетного анализа ядерных реакторов.

В первой главе представлены методики и алгоритмы получения эффективных нейтронно-физических характеристик которые практически реализованы в решеточном коде SVL (Surface Values Lattice code).

Решеточный код SVL предназначен для решения задач теории переноса нейтронов в ячейках и полиячейках для основных типов решеток ядерных реакторов. Данная версия программы предназначена в первую очередь для легководных реакторов, однако может быть использована также для графитовых и тяжеловодных систем. Код SVL является частью комплекса, предназначенного для реализации последовательного подхода к

нейтронно-физическому расчету активных зон ядерных реакторов. Последовательность подхода означает, что в отличие от используемых сейчас инженерных подходов в нем используются методы, в которых начальное приближение удовлетворяет требованиям проектных расчетов, а результаты расчетов получаются по точности сравнимые с реперными, что можно проверить, переходя к следующим приближениям. Первым методом является метод поверхностных псевдоисточников (МППИ), который применяется для расчета характеристик ячеек. Вторым является метод поверхностных гармоник (МПГ), который используется как для расчета кассет (полиячеек), так и для расчета всего реактора в целом.

В этих методах общими являются следующие этапы:

- Выделение подходящих поверхностей, допускающих удобную параметризацию задачи;
- Выбор набора параметров;
- Насчитывание последовательностей решений в областях, ограниченных выбранными поверхностями;
- Формулировка конечно-разностных уравнений, у которых коэффициенты выражаются

через граничные величины соответствующих частных решений (пробные функции);

Оба метода являются последовательными для решения уравнения переноса, в том смысле, что увеличением номера приближения, решение может быть получено с любой желаемой точностью.

В Методе Поверхностных Псевдоисточников (МППИ) выделенные поверхности совпадают с границами сред. Это позволяет использовать моменты функции Грина уравнения переноса для однородных бесконечных сред. Наибольшие выгоды от применения метода получаются при расчете коэффициентов уравнений Метода Поверхностных Гармоник (МПГ) на следующей стадии расчета, так там требуются матрицы отклика типа поток (уровень) ток на границах ячеек.

В SVL входят также в качестве вспомогательных некоторые модули, которые используют модификации метода ВПС.

Программа SVL позволяет проводить следующие виды расчетов:

- Расчет на критичность;
 - Гомогенных смесей;
 - Ячеек в цилиндрической геометрии;
 - Ячеек в кластерной геометрии;

- 2-D и 3-D сборок (гексагональная, квадратная и треугольная решетки блоков);
- 2-D и 3-D сборок с местным нарушением регулярности решетки (кассеты ВВЭР, PWR);
- Расчет выгорания;
 - Гомогенных смесей;
 - Ячеек в цилиндрической геометрии;
 - Ячеек в кластерной геометрии;
 - 2-D и 3-D сборок (гексагональная, квадратная и треугольная решетки блоков);
 - 2-D и 3-D сборок с местным нарушением регулярности решетки (кассеты ВВЭР, PWR);
- Подготовку традиционных и эффективных (получаемых из матриц отклика) констант ячеек и кассет;

При разработке программы учитывался лучший мировой опыт в создании реакторных кодов. Так, в частности, способ подготовки многогрупповых констант во многом аналогичен использованному в таких программах как WIMS, APOLLO, CASMO, HELIOS, например, сечения в резонансной области

энергий представляются в виде таблиц резонансных интегралов, зависящих от сечения разбавления и температуры. Программа использует библиотеки в формате WIMS. Далее используются различные виды теоремы эквивалентности.

На этапе транспортного расчета ячеек используются (по выбору пользователя) три модуля: два - основанные на методе поверхностных псевдоисточников и один - использовании функции Грина для первопроблетных нейтронов. Имеется также несколько модулей для вычисления коэффициентов диффузии в различных приближениях.

На этапе расчета групп ячеек: поляячеек (кассет), сборок используется модуль основанный на методе поверхностных гармоник, который позволяет решать уравнение переноса без предположения гомогенизации как для 2-D так и для 3-D задач в основных реакторных геометриях.

Отличительной чертой данного кода является возможность использовать его в качестве программы подготовки характеристик ячеек и кассет для кодов, выполняющих нейтронно-физические расчеты в рамках МПГ.

Во второй главе представлено описание математических моделей и алгоритмов программы реализованных в программе-иммитаторе активных зон - SVC. Эта программа предназначена

для решения полномасштабных нейтронно-физических расчетов активных зон реакторов ВВЭР. Основное отличие программы от аналогов, это то, что в основу положен МПГ, который имеет ряд преимуществ перед остальными методами. В программах SVL (которая готовит входные данные для SVC) и SVC реализован последовательный подход, позволяющий в том числе, отказаться от приближения гомогенизации на всех этапах нейтронно-физического расчета. Такой подход оказывается достаточно гибок, т.к. оставаясь в рамках одного и того же метода можно получать решения газокинетического уравнения с любой степенью точности меняя только номер приближения. Так, например, для задачи внутри кассеты достаточно использование 3-пробных функций на ячейку, для задачи в активной зоне 6-пробных функций на кассету. При оптимальном выборе приближений МПГ можно получать точности, не хуже чем дают прецизионные подходы, но за время характерное для инженерных программ. Система уравнений, решаемая в программе имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{L}_\Phi \bar{\Phi} &= \frac{1}{\lambda} \mathbf{R}_f \bar{\Phi} + \mathbf{A}_\Phi \bar{X} + \mathbf{B}_\Phi \bar{Y} + \mathbf{C}_\Phi \bar{T} + \mathbf{D}_\Phi \bar{Q} \\ \mathbf{L}\bar{Q} &= \mathbf{M}\bar{\Phi} \\ \mathbf{L}_X \bar{X} &= \mathbf{A}_X \bar{\Phi} + \mathbf{B}_X \bar{Y} + \mathbf{C}_X \bar{T} + \mathbf{D}_X \bar{Q} \\ \mathbf{L}_Y \bar{Y} &= \mathbf{A}_Y \bar{\Phi} + \mathbf{B}_Y \bar{X} + \mathbf{C}_Y \bar{T} + \mathbf{D}_Y \bar{Q} \\ \mathbf{L}_T \bar{T} &= \mathbf{A}_T \bar{\Phi} + \mathbf{B}_T \bar{X} + \mathbf{C}_T \bar{Y} + \mathbf{D}_T \bar{Q} \end{aligned}$$

здесь все вектора и матрицы размерности $G \times K$, G -число групп, K -общее число призм. Компоненты, векторов это величины связанные с амплитудами пробных функций, из которых строится решение внутри призм. Элементы матриц- это характеристики, связанные с матрицами отклика призм. Матрицы отклика вычисляются с помощью программы SVL. Сами уравнения получены из условия непрерывности угловых моментов решения на границах призм.

Наиболее идеологически близкой к SVL-SVC, на настоящий момент, видимо, является связка ТВС-М-БИПР9, однако, в последней подход МПГ использован не полностью, а лишь его часть. Имеется и ряд других отличий, связанных с подготовкой констант, представлением пробных функций и т.д.

Прямым предшественником программы SVC был код МПГ-ГЕКС, с помощью которого были проведены ряд тестовых расчетов, позволивших изучить значимость ряда используемых

приближений. Результаты этих расчетов были изложены в разных публикациях и доложены на конференциях.

Представленный код SVC, помимо естественного улучшения, включает и ряд дополнительных модулей, связанных с включением его в комплексы SVS и SVS KP.

Общая схема расчета выглядит следующим образом:

- Этап расчета характеристик кассет. Для каждой кассеты в соответствии с формализмом МПГ проводится серия расчетов внутри кассетных распределений, естественно с учетом гетерогенной внутри кассетной структуры. Константы для каждой ячейки получаются из библиотеки и соответствуют параметрам данной ячейки (выгорания, плотности, температуры, концентрации отравителей и т.д.). Полученные функционалы –матрицы отклика из этого расчета используются для крупно сеточного расчета. Внутри кассетные распределения мощности, концентрации ^{135}Xe , ^{135}I , $^{149}\text{Sm}+^{151}\text{Sm}$, $^{149}\text{Pm}+^{151}\text{Pm}$ сохраняются и используются для восстановления потвэльных соответствующих полей.
- Этап расчета активной зоны. На основании матриц отклика, полученных из предыдущего расчета, составляются и решаются крупносеточные уравнения МПГ для трехмерной

активной зоны. На этом этапе требуются также граничные условия из библиотек граничных условий для торцевой и боковой границ. Выходными для данного этапа являются амплитуды пробных функций для каждой кассеты, Кэфф, распределения покассетных полей.

- Этап восстановления потвэльных полей. На этом этапе восстанавливаются потвэльные поля как линейная комбинация внутри кассетных распределений, полученных на этапе 1 и амплитуд пробных функций полученных на этапе 2.
- Этап учета обратных связей. На этом этапе рассчитываются потвэльные распределения выгорания, отравителей, шлаков и их предшественников, температуры топлива. Значения плотности воды и температуры рассчитываются в среднем для призм, соответствующих кассете.

В третьей главе приводятся некоторые результаты верификации спектральной программы SVL, предназначенной для расчета нейтронно-физических характеристик топливных решеток и кассет реакторов с легководным замедлителем, и программы имитатора работы активной зоны SVC.

Результаты верификации изложены так, чтобы можно было выделить основные источники погрешностей, методических либо

константных. В рамках работ по аттестации было рассчитано большое число ячеек и кассет легководных реакторов и проведено сопоставление с другими спектральными программами. Исследованы однородные экспериментальные решетки, и большое число экспериментальных неоднородных решеток типа ZR6. Также проведено сопоставление с другими программами для задач изменения нуклидного состава топлива в процессе выгорания. К сожалению, из-за ограничения объема работы сюда вошли только некоторые из рассчитанных объектов, пришлось ограничиться представлением наиболее показательных вариантов.

Для программы SVL это расчеты классических бенчмарков для легководных реакторов, основанных на результатах прецизионных экспериментов (ZR6) и международных специально сформулированных тестов, которые были рассчитаны различными авторами по основным реакторным программам имеющимся сейчас в мире.

Таблица 1. Сводные результаты расчетов критических сборок ZR6. 84 неоднородные конфигурации

Keff	смещение	стандарт
0,998447	0,16%	0,32%

Для программы SVC представлены результаты расчетов нескольких кампаний первого блока Волгодонской АЭС с реактором ВВЭР-1000. Здесь в режиме реального времени проводились расчеты и сопоставления с 448 датчиками внутриреакторного контроля, а также с измеренным значением концентрации борной кислоты в замедлителе.

Таблица 2. Результирующая таблица сравнения расчетного и измеренного значений токов ДПЗ (трехмерные поля) для шести первых кампаний 1-го блока Волгодонской АЭС.

№ компании	Стандарт	Для мах напряженной части активной зоны	
		Отклонение по модулю	Значение поля, энерговыделения, отн.ед.
3	3,9	2,4	1,43
4	3,0	2,2	1,43
5	3,0	2,8	1,41
6	2,5	1,2	1,38
среднее по всем	3,1	2,1	1,42

К настоящему времени по комплексу SVS проведено моделирование примерно 150 лет работы реакторов ВВЭР различных модификаций.

Четвертая глава посвящена применению метода поверхностных гармоник для расчетов реакторов РБМК. Этот тип реакторов, пожалуй, имеет наиболее гетерогенную структуру ячеек из всех существующих и применение здесь МПГ, основным достоинством которого является не использование гомогенизации, является наиболее уместным.

В результате серии исследований было выбрано приближение МПГ, обеспечивающее получение необходимой точности расчетов для различных режимов реактора РБМК. Используя некоторые специфические свойства этого типа реакторов, а именно это то, что большое количество графита обеспечивает установление асимптотического спектра нейтронов на стыке блоков, вдали от каналов и, тот факт, что за диффузионные свойства нейтронов отвечает графит, удалось существенно упростить уравнения МПГ для расчета этого типа реакторов. Таким образом в данном случае оказалось возможным сравнительно небольшими изменениями существующих программ реализовать подход МПГ. Сейчас имеется «гетерогенная» версия известной программы СТЕПАН, использующейся для расчетов

РБМК в которой реализован подход изложенный ниже. Характеристики ячеек (эффективные константы) для этой программы готовятся по программе SVL.

В данный момент имеется обширный материал верификации этого подхода применительно к РБМК. В настоящей Главе представлена лишь небольшая часть наиболее показательных тестов.

В главе 5 обсуждены различные источники неопределенности расчетных функционалов: методическая, константная и технологическая. Учет двух последних служит целью исследований.

Выполнен обзор различных подходов, которые разбиты на три группы. К первой относятся немногочисленные работы, где интерес сосредотачивался на вероятностных аспектах проблемы (случайное число вторичных нейтронов деления, в частности). Получены уравнения для математических ожиданий и дисперсий потоков, доведенные до реальных применений, но только для задач с малым числом нейтронов (анализ измерений, шумы и т.д.) Для той задачи, которая поставлена в рассматриваемой работе, польза такого подхода не просматривается. Во второй группе работ обсуждались вопросы переноса нейтронов в стохастических средах и почти все сводилось к разработке алгоритмов расчетов

эффективных характеристик сред. Расчет дисперсий потоков не затрагивался. В третьей группе работ применялся вид теории малых возмущений (ТМВ) - использование коэффициентов чувствительности. Плюсы и минусы подхода рассмотрены в работе.

В результате анализа разработаны методы и коды для расчетов математических ожиданий и стандартов отклонений реакторных функционалов, коэффициента размножения и локального энерговыделения.

Кратко представлены основы используемых трех методик. Первая - это конечно-разностные уравнения для математических ожиданий и стандартов отклонений величин. Вторая - это методика, основанная на прямом статистическом моделировании системы, когда случайным образом разыгрываются характеристики системы и общее решение получается путем усреднения решений для различных реализаций. И третья - это применение ТМВ для получения смещений и стандартов отклонений величин. В заключение приводятся направления для дальнейшей работы.

Апробация работы

По теме диссертации опубликовано 32 работы в научных журналах и сборниках статей, основные из них:

1. Ковалишин А.А., Лалетин Н.И. Уравнения МПГ в приближении $\langle 6F+1 \rangle$ для реакторов состоящих из гексагональных ячеек (кассет) // **Вопросы атомной науки и техники.** — Москва, 2000. — Вып. 1.: Серия Физика ядерных реакторов. — С. 23-41.
2. Ковалишин А.А., Лалетин Н.И., Султанов Н.В. Использование методов МППИ и МПГ эффективный и весьма подходящий для распараллеливания путь расчетов ядерных реакторов // **Вопросы атомной науки и техники.** — Москва, 2002. — Вып. 4.: Серия Математическое моделирование физических процессов. — С.11-21.
3. Ковалишин А.А., Лалетин Н.И. Разработка конечно-разностных уравнений, описывающих дисперсию нейтронных потоков в реакторе. // **Вопросы атомной науки и техники.** . — Москва, 2009. — Вып. 2.: Серия Физика ядерных реакторов. — С. 11-21.
4. Ковалишин А.А. Основные принципы метода поверхностных гармоник. Плоская геометрия // **Вопросы**

атомной науки и техники. — Москва, 2010. — Вып. 1.: Серия Физика ядерных реакторов. — С. 11-21.

5. Ковалишин А.А., Лалетин Н.И. Расчеты эффективного коэффициента диффузии в четных приближениях метода поверхностных псевдоисточников. // **Вопросы атомной науки и техники.** — Москва, 2010. — Вып. 1.: Серия Физика ядерных реакторов. — С. 21-32.
6. Ковалишин А.А. Расчет эффективных характеристик ячеек реактора с использованием метода вероятностей первых столкновений. // **Вопросы атомной науки и техники.** — Москва, 2011. — Вып. 1.: Серия Физика ядерных реакторов. — С. 11-13.
7. Ковалишин А.А. Способ расчета граничных условий на границе активной зоны и отражателя // **Вопросы атомной науки и техники.** — Москва, 2011. — Вып. 1.: Серия Физика ядерных реакторов. — С. 13-17.
8. Laletin N.I., Kovalishin A.A. Development of Finite-Difference Equations for Variance of Neutron Fluxes in Reactor. // **J. Physics of Atomic Nuclei**, V.73 N 13, Dec. 2010.

Результаты работы докладывались на ряде российских и международных семинарах

1. Всероссийский семинар по проблемам физики реакторов (МИФИ, ВОЛГА-1995,1997, 2000б 2002,2006)
2. Всероссийский семинар «Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов» (НЕЙТРОНИКА 97, 98, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009)
3. Научно техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», 2003, 2005, 2007, 2009
4. Международная конференция по физике реакторов PHYSOR 1996, 2000, 2004, 2006, 2008
5. Международная конференция по Математическим методам и расчетам M&C 1999, 2005
6. Рабочая группа 'New Aspects and Developments of Calculations, Evaluations and Assessments in the Field of Reactor Physics', 2004, 2009
7. Симпозиум по физике реакторов ВВЭР 2000, 2004, 2006, 2008,