

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.04
НА БАЗЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 31 марта 2017 г. № 68

О присуждении Абрамову Борису Дмитриевичу, Россия,
ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Актуальные методы математического моделирования в задачах теории переноса нейтронов и теории ядерных реакторов» по специальности «05.13.18 -математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 23 декабря 2016 г., протокол № 67, диссертационным советом Д 720.001.04, созданным 11 апреля 2012 г., приказ 105/нк, на базе Объединенного института ядерных исследований,

141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6.

Соискатель Абрамов Борис Дмитриевич 1943 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Развитие и обоснование блочных методов в теории переноса нейтронов» соискатель защитил в 1994 г. в диссертационном совете Д 034.10.01, созданном на базе ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Физико-энергетического института, г. Обнинск, Калужская обл.

Соискатель работает ведущим научным сотрудником в АО «Государственный Научный Центр Российской Федерации Физико-Энергетический Институт им. А.И. Лейпунского» (АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»), РОСАТОМ.

Диссертация выполнена в лаборатории 32 Отделения ядерных реакторов и топливного цикла АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск.

Официальные оппоненты:

1. Агошков Валерий Иванович, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института вычислительной математики Российской академии наук (ИВМ РАН), г. Москва;

2. Зизин Михаил Николаевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»);

3. Щукин Николай Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор Национального исследовательского ядерного университета МИФИ (НИЯУ МИФИ), г. Москва.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук (ИПМ РАН им. М.В. Келдыша), г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Орловым Юрием Николаевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим отделом № 6 ИПМ, и утвержденном директором ИПМ, членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, профессором Аптекаревым Александром Ивановичем,

указала, что диссертационная работа Абрамова Б.Д., посвященная развитию и обоснованию методов математического моделирования нейтронно-физических процессов в ядерных реакторах и методов численного решения краевых задач теории переноса нейтронов и теории ядерных реакторов с целью обеспечения современных требований к безопасности и эффективности атомной энергетики, представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему, выполненную на высоком научном и методическом уровне, имеет научную новизну и практическую значимость. Достоверность данных и полученных результатов не вызывает сомнения, все выводы в достаточной мере обоснованы. В отзыве отмечается, что *«автором проведен большой комплекс работ по созданию и обоснованию численных алгоритмов решения уравнения переноса, являющийся существенным вкладом в теорию*

ядерных реакторов» и что «это уникальная как по широте охвата различных разделов теории переноса и теории реакторов, так и по глубине их теоретического анализа, диссертация».

Диссертационная работа соответствует всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 210 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации представлено 75 работ, включая 32 статьи в рецензируемых научных журналах. Из них 25 статей входят в международный перечень SCOPUS. Большинство работ выполнено соискателем лично, без соавторов.

Среди этих статей одними из наиболее важных являются:

1. Абрамов Б.Д. О некоторых модификациях многогруппового метода Марчука для решения неоднородных краевых задач теории переноса нейтронов// Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2000.- Т.40. №11. С. 1739-1752.
2. Абрамов Б.Д. Некоторые модификации теории связанных реакторов//Атомная энергия.- 2001.- Т.90. Вып.5. С. 337-345.
3. Абрамов Б.Д. Некоторые вопросы классификации и оценки погрешностей метода ОРУК определения реактивности // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. Вып. Динамика и безопасность ядерных энергетических установок. - 2004.- № 3. С. 3-13.
4. Абрамов Б.Д. Критерии положительной разрешимости нелинейных уравнений метода грубой сетки Askew//Математическое моделирование.- 2004.- Т.16. № 12. С. 96-108.
5. Абрамов Б.Д., Матвеев Ю.В. Взаимосогласованное определение реактивности и других коэффициентов точечной модели кинетики, наилучших для данного реактора // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. Вып.1. Динамика и безопасность ядерных энергетических установок. – 2007. С. 29-35.
6. Abramov B.D. Methods of Iterations on Subdomains for Neutron Transport Theory Problems//Transport Theory and Statistical Physics.-2008.-Vol. 3. № 2-4. P. 208-235.

7. Abramov B.D., Matveev Yu.V. Some Inverse Problems for Reactor Point Kinetics //Transport Theory and Statistical Physics. – 2008. - Vol. 37. № 2-4. P. 327-343.
8. Абрамов Б.Д. Методы декомпозиции области в теории переноса нейтронов// Ядерная физика и инжиниринг. - 2012. - Т 3. №1. С. 41-46.
9. Абрамов Б.Д. Метод эквивалентных разностей для уравнения переноса нейтронов // Журнал вычислительной математики и математической физики. - 2013. - Т. 53. №9. С. 79-92.
10. Абрамов Б.Д. Некоторые методы расчета возмущений в ядерных реакторах// Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. - 2014.- Вып.6. С. 5-14.

В опубликованных работах соискателя полностью отражены все основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту. Вклад автора диссертационной работы в рассматриваемые публикации является определяющим: большинство работ написано им без соавторов.

На автореферат поступили отзывы от:

- 1) рук. отделения НИЦ «Курчатовский институт» д.ф.-м.н. Ковалишина А.А. и г.н.с., д.ф.-м.н. Гуревича Михаила Исаевича;
- 2) нач. отдела ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», д.т.н. Ельшина Александра Всеволодовича, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.;
- 3) зав. лаб. физики реактора ИБРАЭ РАН, д.т.н. Селезнева Евгения Федоровича, г. Москва;
- 4) нач. лаб. ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», к.ф.-м.н. Попыкина Александра Ивановича, г. Москва.

Все отзывы положительные, в них отмечается актуальность диссертационного исследования, научная новизна, адекватность использованных современных методов решаемым задачам, достоверность полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость.

Вместе с тем, в отзывах присутствует ряд замечаний и вопросов, среди которых отметим следующие, наиболее характерные и важные:

- 1) название диссертации слишком общее, не отражает ее сути;
- 2) отсутствует список используемых обозначений функциональных пространств, операторов и т.п., что затрудняет чтение диссертации;

- 3) в главе 1 диссертации следовало бы привести доказательства лемм и теорем, а не ссылаться на статью в журнале «ЖВМ и МФ», где эти доказательства опубликованы;
- 4) основной объем диссертации посвящен вопросам теоретического обоснования предлагаемых автором методов решения нейтронно-физических задач, а вопросам практической реализации этих методов зачастую должного внимания не уделяется;
- 5) при рассмотрении задач теории переноса нейтронов со шкалой энергии нейтронов, простирающейся вплоть до нуля, обычно используется уравнение переноса, умноженное на \sqrt{E} . В диссертации этот множитель опускается, что порождает ряд отличий проводимого автором математического анализа краевых задач от традиционного анализа. В этой связи возникает вопрос: оправдан ли такой подход?
- 6) уравнение переноса в общем случае разбиения области на подобласти может иметь решения, не суммируемые на границах раздела подобластей. Учитывается ли такая возможность в диссертации?
- 7) В диссертации к методам декомпозиции области относят известные методы граничных интегральных уравнений, альбедные методы и др., авторы которых не называли их методами декомпозиции;
- 8) Метод ГИУ применим лишь к задачам частного вида с однородными подобластями. Поэтому утверждение о том, что он успешно конкурирует с конечно-разностными и другими методами, не совсем корректно;
- 9) Измерение реактивности ядерного реактора является в настоящее время рутинной процедурой контроля его состояния. Как согласуется с этим тезис о невозможности точного измерения реактивности неизвестного состояния реактора, выдвигаемый в диссертации?

При этом во всех отзывах указывается, что данные замечания и вопросы не снижают достоинств работы, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Во всех отзывах подчеркивается, что диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 05.13.18 -

математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловлен авторитетностью и компетентностью назначенных оппонентов и широкой известностью достижений ведущей организации в тех областях математического моделирования, которые затрагивает диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований:

1. Разработаны и математически строго обоснованы модификации метода декомпозиции области для решения нейтронно-физических задач с общего вида сечениями и подобластями, включая:

- постановку краевых задач в системах смежных подобластей;
- схемы итераций по подобластям в интегро-дифференциальных, интегральных и альбедных формулировках;
- схемы операторной прогонки и распараллеливания вычислений по подобластям;
- схемы метода граничных интегральных уравнений (метода ГИУ).

Эти модификации являются методами отыскания положительных решений соответствующих операторных уравнений, к которым сводится новая постановка краевых задач, исследованная в диссертации. Они могут рассматриваться в качестве обобщения известных методов решения краевых задач частного вида (односкоростных, одномерных и т.д.) на задачи более общего вида, охватывающих более широкий круг прикладных задач теории переноса нейтронов.

2. Разработаны и обоснованы новые нелинейные методы и схемы расчета функционалов на решениях нейтронно-физических задач, включая

- методы эквивалентных разностей (ЭР) редукции однородных, неоднородных и нестационарных задач к системам нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ) относительно важнейших реакторных функционалов;
- обобщения известного метода групп (многогруппового метода) Марчука на неоднородные и нестационарные задачи;
- модификации известного многосеточного метода Askew-Takeda.

Значимость методов ЭР заключается, в частности, в том, что они

предоставляют методическую основу для качественно нового шага в направлении дальнейшего развития многогрупповых конечно-разностных методов решения краевых задач теории переноса нейтронов и теории реакторов. Обобщения метода Марчука дают новый подход к решению краевых задач теории переноса нейтронов. Модификации метода Askew-Takeda устраняют недостатки исходного метода, применяемого в ряде известных кодов расчета реакторов, что повышает эффективность этого метода. Строгое математическое обоснование перечисленных нелинейных методов получено впервые.

3. Разработаны новые элементы математического моделирования прямых и обратных задач нестационарного переноса нейтронов, включая:

- уравнения распределенной кинетики с учетом зависимости постоянных распада предшественников запаздывающих нейтронов от энергии;
- уравнения точечной и многоточечной кинетики, обобщающие и уточняющие известные уравнения Усачева, Henry и Avery;
- алгоритмы метода обратной кинетики измерения реактивности и анализ погрешности метода;
- критерий выбора данных по запаздывающим нейтронам;
- методы идентификации коэффициентов уравнений нейтронной кинетики.

Указанные новые методы могут рассматриваться в качестве уточнения, обобщения и дальнейшего развития известных методов моделирования нейтронной кинетики реактора, используемых в целях диагностики и управления его режимов. В частности, новые точечные и многоточечные уравнения обобщают известные схемы расчета функционалов, а на их основе построены новые алгоритмы метода обратной кинетики, которые позволяют находить более точные решения рассматриваемых задач.

4. Развита новые методы расчета возмущений полей нейтронов и обусловленных ими эффектов реактивности, включая:

- методы расчета локальных возмущений полей нейтронов;
- методы расчета эффектов реактивности по теории возмущений;
- методы расчета эффектов при термических деформациях реактора.

Значимость этих новых методов заключается в том, что они позволяют:

находить решение возмущенной задачи в подобласти локализации возмущения, не прибегая к ее решению во всей области реактора; вычислять эффекты реактивности по известным возмущениям коэффициентов уравнения переноса, а не по разности значений реактивности возмущенного и исходного состояний реактора; вычислять эффекты реактивности при термических деформациях, связанных с изменением размеров, формы и взаимного расположения ячеек реактора.

5. Разработаны и реализованы в комплексе программ ACADEM новые эффективные методы и основанные на них алгоритмы - вычисления флюенса быстрых нейтронов на корпус реактора;
- коррекции констант отражателя.

Эти методы и алгоритмы расширяют возможности известного комплекса программ расчета реакторов ACADEM.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказаны теоремы существования и единственности решений уравнений метода декомпозиции области, разработаны и обоснованы алгоритмы их численной реализации для задач теории переноса нейтронов с общего вида сечениями и подобластями;

- разработана математическая теория и алгоритмы реализации метода граничных интегральных уравнений для кинетических интегродифференциальных уравнений переноса нейтронов с общего вида энергетической и угловой зависимостью сечений в средах с однородными подобластями произвольной формы;

- доказаны теоремы существования и единственности решений уравнений для предложенных в диссертации обобщений нелинейного метода групп Марчука на неоднородные и нестационарные задачи теории переноса нейтронов и теории реакторов;

- доказаны теоремы существования и единственности решений уравнений для нового метода эквивалентных разностей редукции неоднородных, условно критических и нестационарных краевых задач к системам нелинейных алгебраических уравнений относительно важнейших реакторных функционалов;

- разработаны и обоснованы новые алгоритмы математического моделирования и численного решения прямых и обратных задач кинетики реактора.

Полученные новые теоретические результаты являются крупным вкладом в развитие и дальнейшее совершенствование математической теории переноса.

Применительно к проблематике диссертации эффективно использован математический аппарат функционального анализа и теории нелинейных положительных операторов в полуупорядоченных банаховых пространствах, позволивший получить упомянутые выше новые результаты.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается, в частности, тем, что они уже были использованы при:

- анализе методов расчета и измерения эффектов реактивности на критическом стенде БФС ГНЦ РФ-ФЭИ;
 - модернизации схем метода грубой сетки Askew-Takeda в известном комплексе программ JARFR расчета быстрых реакторов;
 - разработке опций вычисления флюенса и коррекции констант отражателя в комплекс программ ACADEM расчета тепловых реакторов;
 - учете термических деформаций при моделировании динамических режимов быстрых реакторов,
- и что они являются перспективными для дальнейших приложений по другим направлениям.

Следует отметить, что комплекс программ ACADEM, предназначенный для связанных трехмерных нейтронно-физических и теплогидравлических расчетов реакторов с квадратной и гексагональной геометрией тепловыделяющих сборок на покассетном и потвэльном уровнях, использовался для расчетов блоков Билибинской, Балаковской и Курской АЭС и применялся в рамках проекта ТВС-КВАДРАТ для нейтронно-физических и термомеханических расчетов бельгийских PWR Tihange – 1 и Tihange – 2, а также шведского PWR Ringhals-3.

Достоверность результатов подтверждается доказательствами теорем, публикациями в ведущих рецензируемых журналах, сравнением полученных результатов с экспериментами и расчетами других авторов, положительными

оценками этих результатов на российских и международных конференциях и семинарах.

Все представленные к защите положения и данные являются достоверными, а результаты новыми и получены диссертантом лично.

На заседании 31 марта 2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Абрамову Б.Д. ученую степень доктора физико-математических наук.

На заседании №68 из **21** человека, входящих в состав совета, присутствовали **17**, из них **6** докторов по специальности рассматриваемой диссертации.

Проголосовали **за** присуждение Абрамову Борису Дмитриевичу ученой степени доктора физико-математических наук по специальности «05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» – **17** человек, против – **нет**, недействительных бюллетеней – **нет**.

Председатель

диссертационного совета

/Иванов В.В./

Ученый секретарь

диссертационного совета

/ Иванченко И.М./

31 марта 2017 г.