

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Абрамова Бориса Дмитриевича

«АКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
В ЗАДАЧАХ ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ И ТЕОРИИ ЯДЕРНЫХ  
РЕАКТОРОВ»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-  
математических наук по специальности 05.13.18

«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

**Актуальность.** Бурное развитие вычислительной техники не снимает необходимости периодического пересмотра применяемых численных методов решения уравнения переноса и расчёта функционалов, необходимых для оценки безопасности реакторов. Более того, в связи с ростом сложности приближенных к реальности математических моделей, а также с необходимостью внедрения в расчётную практику новых методов эта потребность растёт с каждым годом. При этом число профессионалов, способных оценить картину в целом, всё уменьшается. Поэтому рассматриваемая работа, призванная как-то закрепить и развить дальше имеющийся уровень знаний в теории ядерных реакторов, безусловно **актуальна**.

**Цель работы** как раз и заключается в модернизации известных и разработке новых математически обоснованных вычислительных методов теории переноса нейтронов и теории ядерных реакторов и, в частности, методов, объединенных общей идеей редукции сложных задач к более простым за счет декомпозиции пространственных областей, редукции уравнений переноса к уравнениям с кусочно-постоянной зависимостью сечений и т.п.

**Научная значимость и новизна очень существенны.** Отметим некоторые достижения. С использованием функционального анализа доказаны существование и единственность положительных решений для задач теории переноса нейтронов и теории ядерных реакторов в их исчерпывающе общей постановке и разработаны и обоснованы методы отыскания этих решений. В частности, получены новые результаты по декомпозиции области для решения интегро-дифференциальных уравнений переноса нейтронов с новой постановкой краевых задач и обоснованием нового метода итераций для смежных подобластей. Особо следует отметить алгоритмы прогонки и распарал-

леливания по подобластям. Весьма значимы модификации широко используемого нодального метода Askew-Takeda с устранением его недостатков.

Очень существенными являются результаты диссертанта в области распределенной кинетики ядерных реакторов, где Б.Д. Абрамов является признанным классиком. Эта часть диссертации была для меня наиболее интересной.

**Практическая ценность.** К сожалению (а может быть и к счастью) большие теоретики сами не пишут программы. И если, как в случае с диссертантом, рядом не оказывается программиста, то многие идеи остаются нереализованными и/или не проверенными на практике. Но в данном конкретном случае даже та часть идей и разработок Б.Д. Абрамова, которая была реализована в конкретных комплексах программ, вполне достаточна, чтобы признать практическую ценность идей диссертанта. Отметим внедрённые в комплекс программ ACADEM методы коррекции констант отражателя, которые позволяют рассчитывать реакторы типа ВВЭР без всё ещё широко используемых «подкруток» граничных условий при расчётах ВВЭР без отражателя. Большую практическую ценность имеют улучшения широко используемого во многих диффузионных программах нодального метода Askew-Takeda, позволяющего существенно сократить время расчёта, особенно при нестационарных расчётах.

Важно подчеркнуть при этом, что упомянутые результаты по разработке и внедрению в комплексы программ JARFR и ACADEM модификации метода Askew-Takeda и, соответственно, методов расчета флюенса и коррекции констант отражателя свидетельствуют о выполнении соискателем требований паспорта специальности 05.13.18, поскольку являются оригинальными результатами одновременно из трех областей: математического моделирования, численных методов и комплексов программ.

**Положения, выносимые на защиту,** хорошо сформулированы. Следует отдельно отметить методы математического моделирования нейтронной кинетики реактора и расчета эффектов реактивности.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов, **апробация работы и публикации** (только в рецензированных журналах свыше 30) диссертанта не вызывают никаких сомнений.

Все представленные к защите положения, данные и результаты получены диссертантом **лично**.

Требования о наличии лемм и теорем в диссертациях, защищаемых по

специальности 05.13.18, здесь удовлетворены с избытком.

Обратимся к **недостаткам** работы.

1. Излишнее использование собственных аббревиатур. Использование не общепринятых сокращений при отсутствии списка сокращений в ряде случаев затрудняет чтение диссертации. Отсутствует глоссарий.
2. Не дано определение эффективной группы запаздывающих нейтронов (стр. 198).
3. Я долго искал, что значит индекс «укр» (стр. 210 и далее), пока не встретил его расшифровку на стр. 226.
4. Метод грубой сетки Askew-Takeda:
  - a) Используется не только для гексагональной геометрии (с. 257).
  - b) Нет экстраполяции к  $\infty$  числа узлов на гексагон в плане (стр. 271), поэтому достигнутый эффект перехода от Askew к L-Askew не очень понятен.
  - c) Отсутствует сравнение предложенных улучшений с вариантом этой методики, развитой А.С. Серегиним (программа TRIGEX).
  - d) Нет рекомендации по организации расчета поправок на грубую сетку при их расчёте в нелинейном процессе.
5. К концептуальным недостаткам диссертации, одновременно являющимся достоинством автора, можно отнести слишком большое количество научного материала, которого хватило бы на несколько диссертаций.

#### **Вопросы к диссертанту:**

1. Имеют ли смысл уравнения точечной кинетики со столь подробными, зависимостями кинетических параметров?
2. Оправдано ли усреднение постоянных распада предшественников запаздывающих нейтронов (ЗН)  $\lambda^{(m)}$  (стр. 198) с весом ценности? Кажется более разумным усреднять их обратные значения с весом источников ЗН. Или в более общем виде – справедливы ли разные подходы к усреднению кинетических параметров – отталкиваясь от уравнения переноса или от ОРУК? Жаль, что нет теоретических обоснований, когда перевычислять концентрации запаздывающих нейтронов в процессе пространственно-временного расчёта (хотя бы в рамках неявных схем).

3. Я очень надеялся найти в диссертации обсуждения разных численных методов вычисления реактивности с помощью канонического ОРУК (всегда надо иметь несколько методов), но мои надежды не оправдались – или я плохо искал.

Общая проблема с теоретиками такого уровня, как Б.Д. Абрамов, что их глубокие результаты не всегда спускаются до уровня, понятного широкому кругу реакторных физиков, и требуется работа "популяризаторов", способных изложить их в виде, пригодном для практического использования. К сожалению, таких людей тоже мало и как их привлечь к подобного рода работе, не очень понятно.

А теперь остановимся на том, что можно отдельно *похвалить* и пожелать диссертанту.

1. Очень актуальными являются углубленные исследования проблем краевых задач при переносе нейтронов в подобластях, с поиском алгоритмов оптимального обмена решениями между подобластями, особенно с внедрением технологий параллельных вычислений.
2. Очень интересны работы по обоснованию и применению 8-групповых постоянных распада предшественников запаздывающих нейтронов. Особенно значимы методы конверсии 6-групповых параметров в 8-групповые.
3. Интересно было бы применение метода локальных возмущений к проблеме смешивания составов при движении органов регулирования (cusping effect), когда в один интервал по  $Z$  поглотитель попадает частично.
4. Очень интересны и практически важны обсуждаемые проблемы учёта утечки в теории возмущений в диффузионном и недиффузионном приближениях. И вообще, мне кажутся недооцененными работы Б.Д. Абрамова по теории возмущений. Многим кажется, что здесь уже ничего нового сказать нельзя, но это не так. Очень перспективным кажется использование возмущений в подобластях, особенно при исследовании деформации топлива.
5. Перспективной кажется возможность совмещения бенчмарков и теоретических штудий Б.Д. Абрамова, особенно для быстрых реакто-

ров. Это могло бы быть предметом многих дипломных работ, а может быть и диссертации.

6. К сожалению, в диссертации очень часты формулировки типа "подробнее см в ..." и при этом ссылка малодоступна. Хотелось бы видеть все работы Б.Д. Абрамова по кинетике реакторов в одном месте, а лучше в одной книге (с включением туда работ по теории возмущений). По моему глубокому убеждению, будущим специалистам по динамике реакторов предстоит найти в работах диссертанта много ценного и ещё не внедрённого в практику расчётов и анализа экспериментов. Если бы удалось сподвигнуть Б.Д. Абрамова к написанию книги, то может быть он там спустил бы кое-что с небес на землю.
7. Но в целом и в таком виде диссертация является ещё одним кирпичом в базу знаний по реакторной физике.

Работа оформлена достаточно аккуратно, язык грамотный, материал изложен последовательно и хорошо структурирован.

Сделанные ранее замечания не снижают ценности полученных в работе результатов.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Работа выполнена на очень высоком научном уровне, содержит необходимые элементы новизны, имеет научное и практическое значение и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Абрамов Борис Дмитриевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование численные методы и комплексы программ».

Доктор физико-математических наук,

с.н.с., главный научный сотрудник

Тел. 89629930361, email [zizin\\_m@mail.ru](mailto:zizin_m@mail.ru)

Зизин Михаил Николаевич

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Подпись Зизина М.Н. заверяю

Главный ученый секретарь

НИЦ «Курчатовский институт»



Стремоухов С.Ю.